

**INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**MECÁNICA DE MÁQUINAS Y ESTRUCTURAS**  
**PROYECTO FIN DE CARRERA**



**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SIMULACIÓN MEDIANTE LS-DYNA DEL ENSAYO  
DE CHOQUE DE UN TODOTERRENO**

**Autor: D. Javier Martín Cadenas**  
**Director: Dra. Carolina Álvarez Caldas**

**Leganés, 2009**

---

## ***ÍNDICE DEL PROYECTO***

---

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>	<b>1</b>
1.1.	INTRODUCCIÓN	2
1.2.	OBJETIVOS	10
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>11</b>
2.1	HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL TODOTERRENO	12
2.1.1.	Historia y evolución del todoterreno	12
2.1.2.	Historia de la marca Land Rover	13
2.1.3.	El todoterreno en España	16
2.2	MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	19
2.2.1.	Introducción	19
2.2.2.	Historia del método de elementos finitos	19
2.2.3.	Fundamentos del método de los elementos finitos	20
2.3	PROGRAMAS ACTUALES DESTINADOS A LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS VEHÍCULOS	22
2.3.1.	Historia nacimiento EuroNCAP	22
2.3.2.	Miembros de EuroNCAP	23
2.3.3.	Protocolos de ensayo	24
	2.3.3.1. Impacto frontal	24
	2.3.3.2. Impacto lateral	25
	2.3.3.3. Ensayos para la protección de peatones	26
	2.3.3.4. Impacto contra poste	27
2.3.4.	Otros programas similares	28
	2.3.4.1. NCAP (New Car Assessment Program)	28
	2.3.4.2. ANCAP (Australian New Car Assessment	

	Program)	29
2.3.4.3.	JNCAP (Japan New Car Assessment Program)	29
2.3.4.4.	IIHS (Insurance Institute Highway Safety)	30
2.3.5.	Nivel de presencia en el parque móvil español	31
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>GENERACIÓN DEL MODELO</b>	<b>34</b>
3.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y PROCESO DE SELECCIÓN	35
3.1.1.	Solicitud de información a constructores	35
3.1.2.	Recopilación de información en Internet	36
3.1.3.	Proceso de selección	37
3.1.4.	Medidas de campo	38
3.2.	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MEDIANTE SOLID EDGE	41
3.2.1.	Introducción a Solid Edge	41
3.2.1.1.	Entorno pieza sólida	42
3.2.1.2.	Entorno pieza de chapa	45
3.2.1.3.	Entorno de conjunto	47
3.2.1.4.	Entorno de plano	51
3.2.1.5.	Entorno de soldadura	52
3.2.2.	Fases de desarrollo del modelo	52
3.2.2.1.	Construcción del chasis	53
3.2.2.2.	Construcción de la carrocería	59
3.2.2.3.	Construcción de muro	63
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>SIMULACIÓN DEL ENSAYO</b>	<b>64</b>
4.1	ANSYS/LS-DYNA	65
4.1.1.	Introducción a Ansys/Ls-dyna	65
4.1.2.	Preproceso	69

4.1.3.	Solución	80
4.1.4.	Postprocesor	87
4.2.	ADAPTACIÓN Y SIMPLIFICACIÓN DEL MODELO	89
4.2.1.	Simplificación del modelo	89
4.2.2.	Ensamblaje de chasis y carrocería	90
4.2.3.	Definición de nuevas piezas del modelo	93
4.2.3.1.	Diseño del motor y ensamblaje	93
4.3.	CARACTERIZACIÓN DEL MODELO	96
4.3.1.	Tipos de elementos	96
4.3.2.	Constantes reales	98
4.3.3.	Materiales y propiedades	99
4.3.4.	Mallado del modelo	102
4.3.5.	Creación de componentes	103
4.4.	RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA MEDIANTE ANSYS LS-DYNA	105
4.4.1.	Aplicación de las condiciones de contacto	105
4.4.2.	Aplicación de las restricciones	105
4.4.3.	Condiciones de resolución del análisis	106
4.4.4.	Solución	106
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>107</b>
5.1.	OBTENCIÓN DE RESULTADOS	108
5.2.	ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA	110
5.2.1.	Configuración test EuroNCAP	110
5.2.2.	Configuración de impacto 40 % del área frontal en el lateral del acompañante	125
5.2.3.	Configuración de impacto centrado	125
5.2.4.	Configuración de impacto 20 % del área frontal en el lateral del conductor	126

5.2.5.	Configuración de impacto 20 % del área frontal en el lateral del acompañante	126
5.2.6.	Comparativa entre las diferentes configuraciones	127
5.3.	ANÁLISIS DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES EN LA CABEZA DEL CONDUCTOR	129
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>137</b>
6.1.	CONCLUSIONES	138
<b>CAPÍTULO VII</b>	<b>DESARROLOS FUTUROS</b>	<b>140</b>
7.1.	DESARROLLOS FUTUROS	141
<b>CAPÍTULO VIII</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>142</b>
<b>CAPÍTULO IX</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>146</b>
ANEXO I	ESTUDIO DEL RESTO DE CONFIGURACIONES	147
I.1.	Configuración de impacto 40 % del área frontal en el lateral del acompañante	147
I.2.	Configuración de impacto centrado	156
I.3.	Configuración de impacto 20 % área frontal en el lateral del conductor	165
I.4.	Configuración de impacto 20 % área frontal en el lateral del acompañante	175
ANEXO II	GEOMETRÍA REAL DEL MODELO	182

---

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

---

<b>Figura 1.1:</b>	TASA DE MORTALIDAD REGIONAL POR CADA 100.000 HABITANTES MENORES DE 0 A 25 AÑOS A NIVEL MUNDIAL	3
<b>Figura 1.2:</b>	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EURO NCAP REALIZADAS A LOS TODOTERRENO Y COMPORTAMIENTO (EN ESTRELLAS)	7
<b>Figura 2.1:</b>	CITROËN KEGRESSE, 1924	12
<b>Figura 2.2:</b>	LAND ROVER 1948, 80 SERIE 1	14
<b>Figura 2.3:</b>	RANGE ROVER, 1970	15
<b>Figura 2.4:</b>	CUADRO RESUMEN MODELOS LAND ROVER	16
<b>Figura 2.5:</b>	LAND ROVER SANTANA FABRICADO EN ESPAÑA	17
<b>Figura 2.6:</b>	JEEP VIASA	18
<b>Figura 2.7:</b>	ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN UN MODELO DE E. F	21
<b>Figura 2.8:</b>	ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO FRONTAL	24
<b>Figura 2.9:</b>	ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO LATERAL	25
<b>Figura 2.10:</b>	ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO PARA PROTECCIÓN DE LOS PEATONES	26
<b>Figura 2.11:</b>	ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO CONTRA POSTE	27
<b>Figura 2.12:</b>	ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO DE IMPACTO LATERAL PROTOCOLO NCAP	29
<b>Figura 2.13:</b>	DISTRIBUCIÓN DE LA EVALUACIÓN EURONCAP DE LOS 30 MODELOS MÁS VENDIDOS DEL AÑO 1998	32
<b>Figura 2.14:</b>	DISTRIBUCIÓN DE LA EVALUACIÓN EURONCAP DE LOS 30 MODELOS MÁS VENDIDOS DEL AÑO 2000	32
<b>Figura 2.15:</b>	EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE UNIDADES EVALUADAS POR EURONCAP	33
<b>Figura 3.1:</b>	RANGE ROVER	38
<b>Figura 3.2:</b>	EJEMPLAR DE RANGE ROVER MEDIDO EN EL DESGUACE	39
<b>Figura 3.3:</b>	EJEMPLAR DE RANGE ROVER MEDIDO EN EL DESGUACE	39
<b>Figura 3.4:</b>	MENÚ INICIO DE SOLID EDGE	41

<b>Figura 3.5:</b>	ENTORNO DE SOLID EDGE PARA EL DISEÑO DE PIEZAS SÓLIDAS	42
<b>Figura 3.6:</b>	OPERACIONES DISPONIBLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BOCETOS	44
<b>Figura 3.7:</b>	ENTORNO DE SOLID EDGE PARA DISEÑO DE PIEZAS DE CHAPA	46
<b>Figura 3.8:</b>	CREACIÓN DE UNA PESTAÑA	46
<b>Figura 3.9:</b>	CREACIÓN DE UNA PESTAÑA PARCIAL	47
<b>Figura 3.10:</b>	CREACIÓN DE DOBLEZ TOTAL	47
<b>Figura 3.11</b>	ENTORNO DE SOLID EDGE PARA LA CREACIÓN DE CONJUNTOS	48
<b>Figura 3.12:</b>	PIEZAS DISPONIBLES PARA LA CREACIÓN DEL CONJUNTO	49
<b>Figura 3.13:</b>	RESUMEN DE RELACIONES DE ENSAMBLAJE	50
<b>Figura 3.14:</b>	ENTORNO DESTINADO A LA GENERACIÓN DE PLANOS	51
<b>Figura 3.15:</b>	EJEMPLO PLANO DESPIECE ACOTADO	52
<b>Figura 3.16:</b>	SECCIONES DE REFERENCIA Y DIRECTRIZ DE UNA ZONA DEL CHASIS	53
<b>Figura 3.17:</b>	TRAMO RECTO DE LARGUERO PRINCIPAL	54
<b>Figura 3.18:</b>	BOCETO DIRECTRIZ ZONA CURVA (P. ISOMÉTRICA)	54
<b>Figura 3.19:</b>	BOCETO DIRECTRIZ ZONA CURVA (ALZADO)	55
<b>Figura 3.20:</b>	LARGUERO PRINCIPAL	55
<b>Figura 3.21:</b>	LARGUERO PRINCIPAL COMPLETO (P. ISOMÉTRICA)	56
<b>Figura 3.22:</b>	LARGUEROS PRINCIPALES COMPLETOS (P. ISOMÉTRICA)	56
<b>Figura 3.23:</b>	LARGUEROS Y REFUERZOS (P. ISOMÉTRICA)	58
<b>Figura 3.24:</b>	CHASIS FINAL (P. ISOMÉTRICA)	59
<b>Figura 3.25:</b>	SUELO DE LA CARROCERÍA (P. ISOMÉTRICA)	60
<b>Figura 3.26:</b>	BOCETOS PARA DISEÑO DE LARGUEROS (P. ISOMÉTRICA)	61
<b>Figura 3.27:</b>	LARGUEROS Y ARCOS DE SEGURIDAD (P. ISOMÉTRICA)	61
<b>Figura 3.28:</b>	ESTRUCTURA DE LARGUEROS COMPLETA (P. ISOMÉTRICA)	62
<b>Figura 3.29:</b>	MODELO CARROCERÍA COMPLETA	63
<b>Figura 3.30:</b>	RANGE ROVER P 38	63
<b>Figura 4.1:</b>	INTERFACE DE USUARIO DE ANSYS	66

<b>Figura 4.2:</b>	VENTANA OUTPUT DE ANSYS	68
<b>Figura 4.3:</b>	CUADRO DE PREFERENCIAS DE ANSYS	69
<b>Figura 4.4:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA ELEMENTOS SELECCIONADOS	71
<b>Figura 4.5:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA TIPOS DE ELEMENTOS	71
<b>Figura 4.6:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA LAS CONSTANTES REALES DE CADA ELEMENTO	72
<b>Figura 4.7:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA LAS CONSTANTES REALES DEL ELEMENTO BEAM 161	73
<b>Figura 4.8:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA MATERIALES	74
<b>Figura 4.9:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	74
<b>Figura 4.10:</b>	MENU PARA LA CREACIÓN DEL MODELO	75
<b>Figura 4.11:</b>	MENU PARA LA VISUALIZACIÓN DEL MODELO	76
<b>Figura 4.12:</b>	MENU PARA LA SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA GEOMETRÍA	77
<b>Figura 4.13:</b>	MENU PARA LA SELECCIÓN DE OBJETOS	78
<b>Figura 4.14:</b>	MENU PARA LA SELECCIÓN DE ELEMENTOS	79
<b>Figura 4.15:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO DE LAS PROPIEDADES DE MALLADO	79
<b>Figura 4.16:</b>	VENTANA PARA LA SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE MALLADO	80
<b>Figura 4.17:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA RESOLUCIÓN DEL ENSAYO	81
<b>Figura 4.18:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO RESTRICCIÓN DE MOVIMIENTOS	82
<b>Figura 4.19:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO DE VELOCIDADES INICIALES	83
<b>Figura 4.20:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE CONTACTO	84
<b>Figura 4.21:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	85
<b>Figura 4.22:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE UN VECTOR DE PARÁMETROS	85
<b>Figura 4.23:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE CARGAS	86
<b>Figura 4.24:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA DEFINICIÓN DEL TIEMPO DE SIMULACIÓN	87
<b>Figura 4.25:</b>	MENU DEL POSTPROCESOR	88
<b>Figura 4.26:</b>	GEOMETRÍA SIMPLIFICADA	90
<b>Figura 4.27:</b>	UNIÓN CHASIS – CARROCERÍA	91
<b>Figura 4.28:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA DEFINICIÓN DEL MERGE	92



<b>Figura 4.29:</b>	DIMENSIONES Y PESO DEL MOTOR V8 DEL RANGE ROVER	93
<b>Figura 4.30:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA DEFINICIÓN DE ELEMENTOS	94
<b>Figura 4.31:</b>	POSICIÓN DEL MOTOR RESPECTO AL CHASIS Y LA CARROCERÍA	95
<b>Figura 4.32:</b>	ELEMENTOS UNIÓN CHASIS – MOTOR	95
<b>Figura 4.33:</b>	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL ELEMENTO SHELL 163	96
<b>Figura 4.34:</b>	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL ELEMENTO SOLID 164	97
<b>Figura 4.35:</b>	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL ELEMENTO BEAM 161	98
<b>Figura 4.36:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA DEFINIR LAS PROPIEDADES DE LAS ÁREAS A MALLAR	103
<b>Figura 4.37:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA CREACIÓN DE COMPONENTES	104
<b>Figura 4.38:</b>	MODELO FINAL MALLADO PARA LA SIMULACIÓN	104
<b>Figura 5.1:</b>	CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA CARGA DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	108
<b>Figura 5.2:</b>	POSICIÓN INICIAL DEL ENSAYO (VISTA LONGITUDINAL)	111
<b>Figura 5.3:</b>	POSICIÓN INICIAL DEL ENSAYO (VISTA TRANSVERSAL)	111
<b>Figura 5.4:</b>	POSICIÓN JUSTO ANTES DEL IMPACTO	112
<b>Figura 5.5:</b>	ESTADO DE LA SIMULACIÓN EN EL INSTANTE $t = 0.0462$ SEGUNDOS	112
<b>Figura 5.6:</b>	ESTADO FINAL DE LA SIMULACIÓN	113
<b>Figura 5.7:</b>	PUNTOS ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	114
<b>Figura 5.8:</b>	PUNTOS DEL CHASIS ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	115
<b>Figura 5.9:</b>	PUNTOS ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA	116
<b>Figura 5.10:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	116
<b>Figura 5.11:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	117
<b>Figura 5.12:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	117
<b>Figura 5.13:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Y (mm) vs TIEMPO (s)	118
<b>Figura 5.14:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Z (mm) vs TIEMPO (s)	119
<b>Figura 5.15:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	120

<b>Figura 5.16:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	121
<b>Figura 5.17:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	122
<b>Figura 5.18:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) vs TIEMPO (s)	123
<b>Figura 5.19:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) vs TIEMPO (s)	123
<b>Figura 5.20:</b>	DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO	124
<b>Figura 5.21:</b>	CURVA DE RIESGO DE LESIONES	129
<b>Figura 5.22:</b>	ACELERACIÓN vs TIEMPO	131
<b>Figura 5.23:</b>	ACELERACIÓN vs TIEMPO	132
<b>Figura 5.24:</b>	ACELERACIÓN vs TIEMPO	133
<b>Figura 5.25:</b>	ACELERACIÓN vs TIEMPO	134
<b>Figura 5.26:</b>	ACELERACIÓN vs TIEMPO	135
<b>Figura I.1</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	148
<b>Figura I.2</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	149
<b>Figura I.3</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	149
<b>Figura I.4</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Y (mm) vs TIEMPO (s)	150
<b>Figura I.5</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Z (mm) vs TIEMPO (s)	151
<b>Figura I.6</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	152
<b>Figura I.7</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	152
<b>Figura I.8</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	153
<b>Figura I.9</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) vs TIEMPO (s)	154
<b>Figura I.10</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) vs TIEMPO (s)	154
<b>Figura I.11</b>	DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO	155
<b>Figura I.12:</b>	POSICIÓN RELATIVA MURO – VEHÍCULO	156
<b>Figura I.13:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	157
<b>Figura I.14:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	158
<b>Figura I.15:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	158
<b>Figura I.16:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Y (mm) vs TIEMPO (s)	159
<b>Figura I.17:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Z (mm) vs TIEMPO (s)	160
<b>Figura I.18:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	161
<b>Figura I.19:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	161

<b>Figura I.20:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	162
<b>Figura I.21:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) vs TIEMPO (s)	163
<b>Figura I.22:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) vs TIEMPO (s)	163
<b>Figura I.23:</b>	DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO	164
<b>Figura I.24:</b>	POSICIÓN RELATIVA MURO – VEHÍCULO	165
<b>Figura I.25:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	166
<b>Figura I.26:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	167
<b>Figura I.27:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	167
<b>Figura I.28:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Y (mm) vs TIEMPO (s)	168
<b>Figura I.29:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Z (mm) vs TIEMPO (s)	169
<b>Figura I.30:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	170
<b>Figura I.31:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	170
<b>Figura I.32:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	171
<b>Figura I.33:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) vs TIEMPO (s)	172
<b>Figura I.34:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) vs TIEMPO (s)	172
<b>Figura I.35:</b>	DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO	173
<b>Figura I.36:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	175
<b>Figura I.37:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	175
<b>Figura I.38:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN X (mm) vs TIEMPO (s)	176
<b>Figura I.39:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Y (mm) vs TIEMPO (s)	177
<b>Figura I.40:</b>	DESPLAZAMIENTO EN DIRECCIÓN Z (mm) vs TIEMPO (s)	177
<b>Figura I.41:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	178
<b>Figura I.42:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	179
<b>Figura I.43:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) vs TIEMPO (s)	180
<b>Figura I.44:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) vs TIEMPO (s)	180
<b>Figura I.45:</b>	VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) vs TIEMPO (s)	181
<b>Figura I.46:</b>	DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO	181

---

## **ÍNDICE DE TABLAS**

---

<b>Tabla 1.1:</b>	VÍCTIMAS DE ACCIDENTES EN LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS	3
<b>Tabla 1.2:</b>	MATRICULACIONES DE VEHÍCULOS EN ESPAÑA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS SEGÚN ANFAC	5
<b>Tabla 1.3:</b>	PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS EN ESPAÑA SEGÚN ANFAC (JUNIO 2009)	6
<b>Tabla 2.1:</b>	COMPARATIVA ENTRE LOS DISTINTOS PROTOCOLOS DE ENSAYOS	31
<b>Tabla 4.1:</b>	DATOS PARA DEFINICIÓN DE CONSTANTES REALES DE LOS ELEMENTOS	99
<b>Tabla 4.2:</b>	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	101
<b>Tabla 4.3:</b>	CUADRO RESUMEN DE PROPIEDADES POR ELEMENTO	103
<b>Tabla 5.1:</b>	TABLA RESUMEN CONFIGURACIÓN PROTOCOLO EURONCAP	124
<b>Tabla 5.2:</b>	TABLA RESUMEN 40% ÁREA FRONTAL EN EL LATERAL DEL ACOMPAÑANTE	125
<b>Tabla 5.3:</b>	TABLA RESUMEN CONFIGURACIÓN CENTRADO	125
<b>Tabla 5.4:</b>	TABLA RESUMEN 20% ÁREA FRONTAL EN EL LATERAL DEL CONDUCTOR	126
<b>Tabla 5.5:</b>	TABLA RESUMEN 20% ÁREA FRONTAL EN EL LATERAL DEL ACOMPAÑANTE	126
<b>Tabla 5.6:</b>	RESUMEN VARIACIÓN DE VELOCIDADES	127
<b>Tabla 5.7:</b>	RESUMEN TENSIONES	128
<b>Tabla 5.8:</b>	RESUMEN DE VALORES DEL HIC	135

---

## ***CAPÍTULO I.***

### ***INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO***

---



### 1.1. INTRODUCCIÓN

La importancia que tiene para miles de personas en todo el mundo, hace del automóvil uno de los elementos más indispensables para el ser humano en su día a día.

El incremento exponencial de la venta de coches a lo largo del siglo XX demuestra la afirmación anterior y sienta las bases hacia el perfeccionamiento de una máquina presente en todos los rincones del planeta. Debido a ello, en pleno siglo XXI se siguen buscando nuevas metas en su desarrollo, ingeniería y diseño. Pero fundamentalmente, los fabricantes inciden en dos elementos indispensables en los nuevos prototipos: la eficiencia energética y la seguridad.

Ambos aspectos han conseguido cambiar la mentalidad de los conductores a la hora de elegir uno u otro vehículo. Buscando seguridad y también comodidad, el todoterreno se ha convertido en la estrella de los utilitarios durante la última década, aunque más adelante se expondrán posturas contrapuestas respecto a ello.

Cada vez más, los conductores se conciencian de la importancia de adquirir unos buenos hábitos de conducción para evitar accidentes, lo cual no evita que aún se sigan produciendo demasiados. Según la Organización Mundial de la Salud, alrededor de 1,2 millones de personas mueren cada año en el mundo debido a colisiones de tráfico, lo que representa el 2,1% de la mortalidad mundial, y muchas más resultan heridas. Estos datos resultan comparables a los de muertes por las principales enfermedades mundiales, como el paludismo o la tuberculosis. Además, los accidentes son la segunda causa principal de muerte entre las personas de 5 a 25 años. En este grupo de edad, son los varones jóvenes quienes más probabilidad tienen de sufrir un siniestro, casi tres veces más que las mujeres de la misma franja de edad. Es el grupo de 0 a 25 años el que concentra el 40% de las muertes por accidentes de tráfico a nivel mundial, mientras que los traumatismos y heridas que se producen constituyen la segunda causa de muerte en personas de 5 a 25 años, a nivel mundial<sup>1</sup> [1].

---

<sup>1</sup> Datos recogidos del mensaje del secretario general de las Naciones Unidas, Koffi Annan, con motivo de la Primera Semana Mundial sobre la Seguridad Vial, celebrada del 23 al 29 de abril de 2007.



**FIGURA 1.1 TASA DE MORTALIDAD REGIONAL POR CADA 100.000 HABITANTES MENORES DE 0 A 25 AÑOS A NIVEL MUNDIAL [2].**

En España las cifras de fallecidos y heridos en carretera han mejorado respecto a años anteriores, pero aún siguen siendo elevadas. Durante 2008, se produjeron 1.929 accidentes mortales [3]. Como consecuencia, perdieron la vida 2.181 personas, 866 resultaron heridas graves y 938 heridas leves. Estos datos suponen una reducción en el número de víctimas del 20,4% respecto a 2007 y de un 20% menos en la cifra de accidentes. Se suman así cinco años de descensos en el número de víctimas mortales. En 2008 se registraron en España, 1.848 muertos menos que en 2003, lo que supone una reducción del 46% en la mortalidad. Estas cifras equivalen a un descenso de 5 personas en el número de fallecidos diarios desde 2003. A todo ello, hay que sumar que el parque móvil en España ha aumentado un 20%, lo que da como resultado una bajada notable del número de fallecidos por cada millón de vehículos, que pasa de los 160 de 2003 a 70 en 2008.

	ACCIDENTES	MUERTOS	HERIDOS GRAVES	HERIDOS LEVES
AÑO 2003	3.443	4.029	2.077	1.970
AÑO 2004	3.036	3.511	1.635	1.565
AÑO 2005	2.876	3.332	1.505	1.426
AÑO 2006	2.626	3.015	1.429	1.445
AÑO 2007	2.415	2.741	1.150	1.213
AÑO 2008	1.929	2.181	866	938
DIF.07/08	-486	-560	-294	-282
%	-20,13%	-20,44%	-24,87%	-22,68%

**Tabla 1.1 Víctimas de accidentes en las carreteras españolas**

Con estas cifras de accidentes, no es extraño pensar que los conductores cada vez busquen más seguridad al volante aunque para ello tengan que realizar una mayor inversión en el coste del automóvil. Si a ello se suma la bonanza económica que se vivió en



España antes de la crisis actual, se puede entender el alto número de ventas de los todoterreno. Estos vehículos se anuncian ante los compradores con tres características esenciales: el lujo, el confort y la seguridad.

En el año 2007, las ventas de todoterreno subieron un 13% en España y se matricularon más de 155.000 nuevas unidades, mientras el conjunto del sector caía un 1,2%, según datos de ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones) [4]. Un año más tarde la situación empeoró para todo tipo de vehículos, debido a la acuciante crisis económica mundial que ha hecho descender las ventas de coches de forma dramática.

A pesar de ello, a partir de la segunda mitad de 2009, las ventas se han vuelto a recuperar en España, gracias a los planes de reactivación puestos en marcha por el Gobierno, tales como el PIA (Plan Integral de Automoción) o el Plan VIVE. No obstante, aunque en agosto se han alcanzado las mismas cifras que en 2008, las unidades matriculadas aún no han vuelto a los niveles previos a la crisis, como puede observarse en la siguiente tabla.





## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS



Comunidad	Mes: Agosto			Acumulado: Enero-Agosto		
	2009 Volumen	2009 % Penetr.	% Var. 08/09	2009 Volumen	2009 % Penetr.	% Var. 08/09
<b>ANDALUCIA</b>	9.669	16,5%	-3,2%	81.790	13,6%	-39,2%
<b>ARAGON</b>	1.470	2,5%	-8,7%	14.714	2,5%	-33,4%
<b>ASTURIAS</b>	1.553	2,7%	8,9%	13.995	2,3%	-11,1%
<b>BALEARES</b>	1.636	2,8%	1,2%	14.791	2,5%	-42,4%
<b>CANARIAS</b>	2.093	3,6%	-24,3%	19.065	3,2%	-40,4%
<b>CANTABRIA</b>	892	1,5%	11,1%	7.098	1,2%	-17,8%
<b>CASTILLA LA MANCHA</b>	2.419	4,1%	3,0%	20.449	3,4%	-24,1%
<b>CASTILLA LEON</b>	3.186	5,4%	14,2%	28.875	4,8%	-11,7%
<b>CATALUÑA</b>	8.008	13,7%	-2,9%	84.771	14,1%	-29,3%
<b>CEUTA Y MELILLA</b>	218	0,4%	-13,5%	2.044	0,3%	-22,9%
<b>COMUNIDAD VALENCIANA</b>	7.003	12,0%	23,3%	58.884	9,8%	-44,0%
<b>EXTREMADURA</b>	1.100	1,9%	3,5%	10.271	1,7%	-18,8%
<b>GALICIA</b>	4.331	7,4%	19,6%	34.262	5,7%	-12,3%
<b>LA RIOJA</b>	348	0,6%	13,4%	3.150	0,5%	-16,7%
<b>MADRID</b>	9.634	16,5%	-16,7%	157.112	26,2%	-35,0%
<b>MURCIA</b>	1.597	2,7%	3,6%	13.235	2,2%	-33,6%
<b>NAVARRA</b>	1.033	1,8%	37,0%	9.054	1,5%	3,0%
<b>PAIS VASCO</b>	2.320	4,0%	7,5%	26.068	4,3%	-14,0%
<b>TOTAL</b>	<b>58.510</b>	<b>100%</b>	<b>0,0</b>	<b>882.397</b>	<b>100%</b>	<b>-32,0%</b>

**Tabla 1.2 Matriculaciones de vehículos en España por Comunidades Autónomas según ANFAC**

Los datos de producción de vehículos en España tampoco son demasiado halagüeños. Según las cifras del Instituto Nacional de Estadística (INE) que se recogen en el II Observatorio de Fabricantes de Automóviles y Camiones de España<sup>2</sup>, en 2008 la producción de vehículos a motor se situó en 2.541.644 unidades, por un importe equivalente a 32.090 millones de euros, lo que supone un descenso del 12% en cuanto a unidades y una disminución del 15% respecto a los beneficios, en comparación con el año anterior. La mayor parte de los vehículos producidos fueron turismos (1.943.049), en tanto que los todoterreno sumaron 70.812 unidades, quedando 527.783 vehículos comerciales e industriales, según datos de ANFAC. Estas

<sup>2</sup> El Observatorio Industrial del sector de Fabricantes de Automóviles y Camiones, fue creado el 12 de Septiembre de 2005 mediante la firma del convenio de colaboración por parte de la Federación Minerometalúrgica de Comisiones Obreras (FM-CC.OO.), Metal, Construcción y Afines de la Unión General de Trabajadores (MCA-UGT), la Federación de Entidades de Innovación y tecnología (FEDIT), la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) y el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

medias no han mejorado durante el año 2009, como puede observarse en la siguiente tabla:

Producción de vehículos en España según ANFAC (junio 2009)	JUNIO	% 09/08	ACUMULADO 2009	% 09/08
<b>TURISMOS</b>	165.169	-7,92	854.738	-27,20
<b>TODOTERRENO</b>	3.525	-33,47	7.395	-84,47
<b>COMERCIALES LIGEROS</b>	18.877	-34,77	111.257	-37,18
<b>FURGONETAS</b>	6.164	-56,95	32.658	-65,45
<b>VEH. INDUST. LIGEROS</b>	1.379	-73,76	8.281	-77,80
<b>VEH. INDUST. PESADOS</b>	536	-68,84	1.793	-82,04
<b>TRACTOCAMIONES</b>	458	-37,77	1.021	-73,93
<b>AUTOBUSES</b>	28	-73,33	400	-40,30
<b>TOTAL</b>	<b>196.136</b>	<b>-16,80</b>	<b>1.017.543</b>	<b>-34,15</b>

**Tabla 1.3 Producción de vehículos en España según ANFAC (junio 2009)**

Las cifras de producción no son muy optimistas para el sector automovilístico español, pero se puede observar que los turismos y los todoterreno son los vehículos que menos descienden, especialmente los primeros. Si tenemos en cuenta que una de las características que presenta el todoterreno en la actualidad es el lujo, resulta comprensible la bajada en la producción, ya que irá acompañada de un descenso de ventas, que en España se puede explicar también por las políticas medioambientales llevadas a cabo por el Gobierno.

No obstante, en los últimos años, los todoterreno eran los vehículos más vendidos. Eran y continúan siendo los coches de 'moda' y se han hecho cada vez más frecuentes en la fisonomía de las ciudades. Su uso se ha extendido para llevar a los niños al colegio o realizar la compra en el supermercado con mayor comodidad. Además, los compradores ven en ellos un añadido de seguridad que no ofrece un monovolumen o un utilitario.

Pero a pesar de las altas cifras de ventas, los expertos disienten en cuanto a las prestaciones de estos vehículos. Las voces a favor y en contra se repiten en foros, estudios y análisis del todoterreno. Para Juan José Alba<sup>3</sup>, los conductores compran todoterrenos

<sup>3</sup> Juan José Alba es coordinador de un informe técnico sobre la seguridad de los todoterreno realizado por el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón de la Universidad de Zaragoza.

pensando “que son más seguros”. Sin embargo, su compatibilidad está en entredicho. Muchos expertos defienden que vuelcan con más facilidad, frenan peor, son más agresivos para los otros vehículos cuando se produce un accidente, etc. [5]

A este respecto se pueden citar los resultados obtenidos por los todoterreno en las pruebas Euro NCAP. Mientras que un 64% de los grandes turismos con los que se pueden comparar un todoterreno consiguió las cinco estrellas de este programa europeo de seguridad, tan solo el 24% de los todoterreno consiguió la misma evaluación.



Figura 1.2 Resultados de las pruebas Euro NCAP realizadas a los todoterreno y su comportamiento (en estrellas).

Ricardo Chicharro, ingeniero del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) explica el porqué de esta falta de confianza en los todoterreno. Estos coches cuentan con un centro de gravedad alto, con el que “la estabilidad es inferior” [6], aunque también reconoce que en los últimos años se ha evolucionado mucho con sistemas como el ABS o el ESP. A pesar de ello, afirma que en las maniobras inesperadas, cuando la adherencia del coche es crítica, un conductor medio con un vehículo con un centro de gravedad alto, tiene más posibilidades de tener un accidente.

De la misma opinión es Gema Pequerul, ingeniera del departamento de Reconstrucción de Accidentes y Seguridad Vial del Centro de Zaragoza. Pequerul reconoce que en las colisiones “el todoterreno suele salir beneficiado” salvo cuando se trata de salidas de la vía y colisiona con un obstáculo rígido, ya que el mayor peso va en su contra porque hay más energía que disipar y es el propio



vehículo el que la absorbe, lo que puede provocar lesiones muy graves en sus ocupantes.

No sucede lo mismo cuando los casos son de impacto lateral, donde los todoterreno destacan por su buen comportamiento. En las pruebas Euro NCAP, en colisión lateral, estos coches suelen obtener una media de 16 puntos, frente a los 15 obtenidos por los grandes turismos familiares. Por otro lado, la altura también ayuda, ya que el conductor se encuentra más elevado, lo que le da mayor visibilidad y más seguridad. Según Gema Pequerul, los todoterrenos ofrecen una mayor visibilidad “y los conductores pueden advertir antes el peligro e incrementar la seguridad en maniobras como el adelantamiento”. Lo mismo ocurre durante la noche, ya que la mayor altura de sus luces favorece la reducción de sombras y la incidencia de las luces de otros vehículos.

El informe técnico sobre la seguridad de los todoterreno realizado por el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón de la Universidad de Zaragoza también señala que el conductor medio se siente muy cómodo durante el viaje en un 4x4 debido a la amplitud interior y a la posición poco forzada de las articulaciones.

Para Juan José Alba “el todoterreno es un vehículo cómodo, funcional y seguro, preparado para resolver con éxito situaciones que no se podrían plantear ni abordar con otro tipo de vehículo turismo”.

Alba también incide en uno de los puntos negros del todoterreno: su facilidad para volcar en las curvas y cambios de dirección debido a la altura de su centro de gravedad. El estudio indica que el todoterreno actual mantiene un comportamiento dinámico comparable a muchos turismos de gama media-alta, gracias a las nuevas tecnologías aplicadas a estos vehículos, a lo que hay que sumar los controles de sistemas de estabilidad, que cada vez son más frecuentes, ya que en España un 47% de los pequeños todocaminos y un 79% de los grandes lo equipan de serie. El promedio para todas las categorías es del 82% [7]. En 2008, todos los automóviles que circulaban por las carreteras españolas estaban equipados con antibloqueo de frenos (ABS) y airbags de conductor y pasajero. El 90,9% con airbags laterales y el 80% con control electrónico de estabilidad (ESP) [8].

Así pues, se puede observar la preocupación de los fabricantes por la seguridad de los todoterreno, aunque también hay que exponer que ésta depende mucho del tipo de vehículo del que se esté hablando, pues es conocido que existen varias clases fundamentales.



Entre ellas, es imprescindible señalar tres de ellas, que se exponen a continuación:

- El todoterreno como tal, también llamado 4x4 y conocido por su eficacia en el campo y en terrenos complicados. Usualmente son altos y cuentan con mucho espacio en su interior. Están dotados de grandes ruedas y tracción total, así como de una caja de cambios con reductora. Tras sus inicios en el sector militar, se adaptaron a usos civiles por su facilidad a la hora de moverse por terrenos difíciles, aunque a pesar de la agilidad que demuestra en el campo, su comportamiento sobre asfalto es peor que el de un turismo medio.
- *SUV* u '*offroad*' (todocamino en español), combina elementos del todoterreno y el turismo. Suelen contar con tracción integral y ofrecen un gran confort de marcha, en parte debido a su gran altura. Surgieron en la década de los 90, como alternativa a los grandes turismos de lujo, aunque manteniendo una estética 4x4 y mejorando sus prestaciones sobre asfalto.
- Los *crossover* son turismos con carrocería familiar, pero que dentro esconden prestaciones propias de las clases anteriores. Suelen estar equipados con tracción a las cuatro ruedas y protección contra golpes en los laterales y bajos del vehículo. Destacan por su escasa altura del suelo y por sus funciones, muy similares a las de un turismo. Además pueden transitar por caminos de tierra que no sean complicados en exceso.



### 1.2. OBJETIVOS

La evaluación de la validez de los ensayos 'crash test' constituye el principal objetivo del presente proyecto. El test se representará a través de un modelo matemático que recree el diseño del automóvil, que, en este caso concreto, pertenece al sector del todoterreno. A través de dicho modelo, se simulará un impacto fronto-lateral, utilizando para ello el código de elementos finitos LS-DYNA. Se analizará como afectan la posición relativa muro-coche y la velocidad de impacto, para tratar de evaluar si las condiciones de estudio son las más desfavorables para vehículo y pasajero en caso de sufrir un accidente.

La primera parte del proyecto englobará simulaciones realizadas de acuerdo a las directrices marcadas por el programa Euro NCAP, que actualmente se encarga de definir las condiciones de impacto en los test reales.

La segunda parte recreará situaciones análogas a la anterior, modificando la posición relativa entre el muro y el vehículo; éste parámetro, junto con la velocidad de impacto, es un parámetro fundamental para la caracterización del ensayo. Para cada una de las pruebas se analizarán, como consecuencia del choque, la deformación de la estructura del vehículo y las aceleraciones experimentadas por un punto de la estructura situado en una posición similar a la que tendría la cabeza del conductor. Todas estas simulaciones conformarán el punto de partida para poder analizar los test que se realizan en la actualidad y la validez de los mismos.

Por último y una vez que se conozcan todos los datos para el análisis del ensayo, serán discutidas las ventajas y limitaciones de los códigos matemáticos en estos estudios y el tiempo de simulación necesario para completar estas pruebas.

## ***CAPÍTULO II.***

### ***ESTADO DEL ARTE***

## 2.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL TODOTERRENO

### 2.1.1. Historia y evolución del todoterreno

Según la Real Academia de la Lengua los todoterreno son vehículos que sirven para circular por zonas escarpadas e irregulares.

Técnicamente son vehículos que tienen tracción múltiple, es decir, las cuatro ruedas son motrices, aunque no todos los coches con tracción 4x4 pueden ser denominados todoterreno. Según los especialistas, este tipo de vehículos deben estar provistos de caja reductora o caja de transferencia con marchas de fuerza. Los todoterreno se distinguen por su robustez y por la altura de su centro de gravedad, cualidad muy importante para este proyecto, porque de ello dependerán los resultados de las pruebas que se realicen con este tipo de coches.

Los antecedentes de estos vehículos se remontan a principios del siglo XX. Sus orígenes son militares y surgen durante la primera guerra mundial, aunque su perfeccionamiento y puesta en marcha se produce en el periodo de entreguerras previo a la Segunda Guerra Mundial. La necesidad de mover personal y suministro en lugares de difícil acceso conforman el caldo de cultivo de este tipo de máquinas. Previamente, había aparecido el Citroën Kegresse (figura 2.1), un vehículo semioruga que no llevaba tracción en el eje delantero (sólo llevaba ruedas delanteras direccionales). El eje trasero propulsaba el vehículo, en tanto que la unión al suelo se realizaba mediante un sistema de cadenas articuladas que le proporcionaba una gran capacidad para trepar por cualquier sitio [9].



Figura 2.1: Citroën Kegresse, 1924.





En la década de los 40, el ejército estadounidense apostó por un vehículo ligero, pero capaz de desplazarse por todo tipo de terrenos, previendo las necesidades de la segunda gran guerra. Por este motivo, encargó a la compañía Ford un coche de estas características. La empresa automovilística aprovisionó al ejército con más de 700.000 unidades del Jeep, un pequeño vehículo con tracción a las cuatro ruedas y dos velocidades [10].

En 1946, la empresa Willys-Overland se proclamó ganadora de un concurso del ejército de Estados Unidos para fabricar coches con las características anteriores. En ese mismo año, Willys-Overland registró el nombre de Jeep y empezó a producir estos vehículos para uso civil [11]. Mientras, en Europa, la marca Land Rover comenzaba a desarrollar todoterreno para los consumidores europeos, buscando el perfil del profesional del entorno rural.

A principios de la década de los 60, Jeep presenta un modelo más acondicionado, el 'Jeep Waggoner', que incorpora el cambio automático y la dirección asistida. El mercado de los todoterreno comienza a diversificarse y sus posibilidades comerciales se explotan para llegar a más consumidores.

En la siguiente década, las dos grandes marcas, Jeep y Land Rover, lanzarán los modelos clave para la evolución de los 4x4. Surge así el Range Rover y el Jeep Cherokee. Todavía habrá que esperar diez años más hasta que la diversificación se haga patente. En la década de los 80, aparecen los pick-up y los todoterreno juveniles urbanos.

Grandes marcas de la automoción como BMW, Volkswagen o Mercedes y firmas asiáticas como Nissan, Toyota, Mitsubishi y Suzuki se lanzan en los 90 a explotar este segmento del mercado automovilístico y comienzan a fabricar modelos todocamino u offroad.

El crecimiento de este tipo de vehículos durante los últimos 20 años ha sido imparable y los conductores continúan apostando por ellos por su comodidad y adaptabilidad en cualquier situación, aunque los todoterreno precursores poco, o nada, tenían que ver con los que surcan el asfalto urbano en la actualidad.

### **2.1.2 Historia de la marca Land Rover**

El proyecto presente se basa en un modelo de la mítica marca Land Rover. Para entender su fisonomía actual, es necesario

retrotraerse en la historia de la casa y ver la trayectoria de sus vehículos.

En 1948, apareció en Gran Bretaña el primer Land Rover orientado a los profesionales del entorno rural que necesitaban este tipo de vehículos en sus granjas o para desplazarse por caminos poco transitables. La falta de recursos tras la Segunda Guerra Mundial, obligó a los hermanos Wilks, directivos de la fábrica Rover, a realizar un prototipo de aluminio (en vez de acero) de color verde, ya que estaban pintados con material sobrante de una fábrica de reactores [12] (figura 2.2). El chasis de un Jeep Willys, al que después adaptaron un motor Rover, fue el punto de partida del nuevo modelo. La presentación se realizó en el Salón del Automóvil de Ámsterdam y un año más tarde, en 1949, comenzó su producción [13].



**Figura 2.2: Land Rover 1948, 80 serie 1**

Desde sus inicios, el Land Rover tuvo gran aceptación y cada usuario lo adaptó a sus propias necesidades, dando lugar a muchas variantes, desde vehículos para safaris a transporte de emergencias o coches militares. Además, destacó por su capacidad y rendimiento en las expediciones y exploraciones, gracias a la tracción integral que ya incorporaba el primer modelo.

A finales de la década de los sesenta, la compañía comenzó a explorar nuevos nichos de consumo. Tenía el convencimiento de la existencia de un mercado más lujoso, sin perder las características propias del 4x4. Un nuevo modelo que combinara las prestaciones de una berlina (confort y manejabilidad), con la capacidad todoterreno del Land Rover. Aparece así el Range Rover (figura 2.3), que se lanzó en junio de 1970, constituyendo uno de los primeros vehículos con múltiples usos y capacidades.



**Figura 2.3: Range Rover, 1970**

Veinte años más tarde, la compañía da otra vuelta de tuerca a su mítico ejemplar buscando, de nuevo, adaptarse al mercado y hacer un coche con un confort mayor que el del Range Rover. Crean el Discovery, que se lanza al mercado en 1989 y reúne las características esenciales de sus dos precursores: la fuerza y capacidad todoterreno del Land Rover original, con el confort de un Range Rover.

Cincuenta años después de la presentación del Land Rover, la compañía lanza un modelo completamente nuevo destinado a un nuevo segmento del mercado de los todoterreno. El Freelander se presentó en 1997 orientado a los conductores aventureros que no quieren perder prestaciones en el entorno urbano. Land Rover sigue paso a paso la misma evolución que el resto de marcas que realizan 4x4, sumando comodidad en la ciudad y capacidad en terrenos complicados. El siguiente paso es el Range Rover Sport, el vehículo “más orientado hacia un rendimiento máximo” [14], según los fabricantes.

Ya en la década actual, la empresa “adaptándose a las demandas de un mundo en evolución” [15] comienza a desarrollar iniciativas medioambientales, para acallar las voces descontentas con los todoterreno por su falta de respeto con el medio ambiente. En 2006, nace el proyecto Land-e, que presenta la tecnología e-Terrain System. El sistema reduce el consumo de combustible y limita las emisiones de CO<sub>2</sub>, a la vez que mejora la capacidad 4x4.

Más de 50 años después, la empresa que creó el Land Rover continúa a la cabeza del mundo todoterreno, adaptándose al mercado y a las nuevas filosofías imperantes. La importancia de la marca queda patente en su presencia alrededor del mundo. También en España, la factoría inglesa dejó su huella. Concretamente, con la fabricación del Land Rover Santana.



equipo grúa, para extinción de incendios o equipos de riego por aspersión [16].



**Figura 2.5: Land Rover Santana fabricado en España**

“El Land Rover-Santana se caracterizaba por sus múltiples opciones de uso, tanto en faenas del campo, debido a su gran potencia, como en el ejército por su economía y dureza, así como en otros trabajos. Era un vehículo de muchas aplicaciones, de evidente superioridad y gran capacidad de arrastre”, características propias de Land Rover, que acompañaban a sus modelos en cualquier situación. [17].

Pero la historia del todoterreno en España cuenta también con otras aportaciones. El máximo competidor de Land Rover durante los primeros tiempos de los 4x4, estaba asentado también en territorio hispano. El Jeep creado por Karl K. Probst se fabricó en Zaragoza bajo licencia y control de la compañía Kaise Jeep Corporation, perteneciente a la matriz Willys-Overland. La fábrica Viasa fue el lugar elegido por los dueños de Jeep, para producir estos famosos 4x4 en la Península Ibérica. Bajo la marca Willys-Viasa surgieron múltiples modelos de Jeep, como el Caravan, el Duplex, el Furgón de reparto, el Chasis con cabina, el Campeador o el Toledo. “Son vehículos insustituibles, cuando se precisa un trabajo duro en el monte, en terrenos pantanosos, en plena sierra y en lugares inaccesibles, en general, para otro vehículo. Además, su capacidad de carga (4 y 9 viajeros), le convierten en el más idóneo para el transporte de personas por pésimos caminos” [18].



**Figura 2.6: Jeep Viasa**

Tras estas dos marcas míticas, tan solo falta la referencia a los todoterreno de fabricación española. Merecen mención especial, los camiones todoterreno fabricados por Barreiros. Vehículos militares concebidos y preparados para transportes logísticos por carretera y tácticos, marchando sobre caminos, campo a través o en zonas de combate. Los Barreiros fueron el producto propio que ya contaba con larga tradición en España, puesto que el Ejército español realizaba importantes encargos a empresas nacionales. Ya en 1954, el Ministerio del Ejército realizó un encargo de prototipos de camiones militares *todo terreno* provistos de gran capacidad de carga. [19] Estos vehículos dotaban al ejército español de la comodidad todoterreno y se exportaban asimismo, a otros regimientos extranjeros.



## 2.2 MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

### 2.2.1 Introducción

El proceso de diseño y fabricación de cualquier sistema mecánico es un proceso largo y complejo. Antes de plantearse el diseño de cualquier elemento o parte de una máquina es imprescindible intentar predecir el comportamiento de cada una de las piezas por separado así como las posibles interacciones entre ellas. Esta etapa debe ser el punto de partida de todo ingeniero para conseguir un diseño lo más eficiente posible.

Este primer paso consiste en la creación de un modelo que tenga en cuenta los diferentes conceptos matemáticos y físicos que rigen el funcionamiento del sistema a construir. El resultado es un sistema de ecuaciones con diferentes incógnitas que determinan el comportamiento del objeto de estudio. En multitud de ocasiones los modelos están formados por infinidad de ecuaciones diferenciales.

La dificultad resultante para obtener soluciones analíticas de estas ecuaciones se manifiesta en el uso habitual de modelos más simples que se basan en resultados experimentales. La experiencia o ciertas soluciones matemáticas concretas son, en otras ocasiones, las que referencian un patrón más fiel.

A lo largo de la historia se ha llevado a cabo esta simplificación de los sistemas reales a modelos más simples constantemente. Actualmente se siguen simplificando los modelos pero gracias a los avances tecnológicos cada vez se tiende a realizar modelos más acordes con la realidad. La técnica numérica más utilizada por presentar mayores y mejores resultados es la denominada *elementos finitos*.

### 2.2.2 Historia del método de elementos finitos

El método de los elementos finitos se basa en el principio de discretización de elementos continuos. Este concepto aparece en la historia en el siglo XXX a. C, siendo utilizado por la civilización egipcia para el cálculo del volumen de las pirámides. La siguiente aparición de este concepto se puede encontrar en el siglo III a. C, en el que Arquímedes (287 – 212 a. C) utilizaba esta técnica para calcular el volumen de todo tipo de volúmenes y superficies. Por último, en el siglo IV, el matemático chino Lui Hui empleó un polígono regular de



3072 lados para calcular longitudes de circunferencia con lo que conseguía una aproximación al número Pi de 3.1416.

El concepto de elemento finito tal y como se conoce hoy data del año 1943, en el que R. Courant [20] aproximó la función lineal de deformación en cada uno de los conjuntos de elementos triangulares del problema de torsión de St. Venant. Paralelamente a este análisis, sobre los años 40, McHenry, Newmark, Hrenikoff y Courant, demostraron que es posible obtener buenas aproximaciones de la solución a un problema continuo dividiéndolo en pequeñas porciones [21]. En el año 60 apareció por primera vez el término *elemento finito*, cuyo uso se atribuye a Clough [22].

La irrupción masiva de ordenadores en la década de los 70 permitió solventar el mayor problema de la técnica de los elementos finitos, la resolución de sistemas matriciales de gran tamaño. El desarrollo de la informática fue la base para el desarrollo de este método de cálculo.

Actualmente, el elevado nivel de desarrollo de la informática así como el crecimiento de las herramientas de diseño, permite que los elementos finitos abarquen prácticamente todos los campos de la ciencia, convirtiéndolos en una herramienta prácticamente indispensable para el análisis y diseño de sistemas tecnológicos.

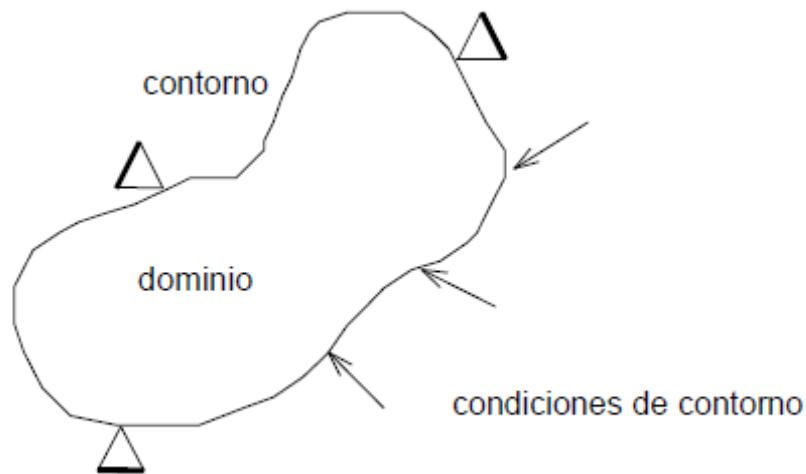
### 2.2.3 Fundamentos del método de los elementos finitos

El método de elementos finitos consiste en la simulación de un proceso físico real (con su geometría y cargas) mediante un modelo matemático. Se aproxima la realidad mediante simplificaciones matemáticas. El concepto básico del método consiste en la discretización de la región continua objeto de estudio, dividiéndola en pequeños elementos interconectados entre sí (llamados elementos). De esta forma se consigue pasar de las infinitas incógnitas de un modelo físico real a un número finito de incógnitas del modelo de elementos finitos.

En cualquier sistema a analizar se puede distinguir entre:

- *Dominio*: espacio geométrico donde se a ha analizar el sistema
- *Condiciones de contorno*: variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas...
- *Incógnitas*: variables del sistema que se deseen conocer después de que las condiciones de contorno hayan actuado sobre el sistema.





**FIGURA 2.7: ELEMENTOS INVOLUCRADOS EN UN MODELO DE ELEMENTOS FINITOS**

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, discretizar el dominio en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (caso tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total se aproxime mediante un conjunto de elementos. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se calculan las incógnitas del problema. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

Una vez se han obtenido los valores de las incógnitas (únicamente calculados en los nodos), la *función de forma* es la encargada de calcular los valores de los grados de libertad en otros puntos diferentes a los nodos del sistema. La función de forma se asume en el momento de la elección del tipo de elemento, es decir, cada tipo de elemento lleva implícita una determinada función de forma. Por tanto, la exactitud de los resultados dependerá tanto del número de nodos que se definan como de la correcta elección de la función de forma [23].



### **2.3 PROGRAMAS ACTUALES DESTINADOS A LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS VEHÍCULOS**

Euro NCAP es el programa europeo que analiza la protección que ofrecen los nuevos modelos de vehículos a tres grupos de usuarios: los ocupantes adultos, los niños y los peatones. Su objetivo es el incremento de la seguridad pasiva de los vehículos y la protección de ocupantes y peatones.

Las distintas simulaciones realizadas en este proyecto se han llevado a cabo siguiendo las directrices fijadas por este protocolo. A continuación se procederá a exponer los diferentes ámbitos de estudio de esta organización así como una breve reseña sobre la evolución de este organismo [24].

#### **2.3.1 Historia**

El proyecto EuroNCAP se inició en 1996, su objetivo inicial consistía en el desarrollo de protocolos de ensayo para la evaluación y comparativa del comportamiento en ensayos (no regulados legislativamente) de choques frontales, laterales y colisiones con peatones.

El programa inicial EuroNCAP implicaba la compra de vehículos de reciente aparición, su ensayo y la publicación de los resultados obtenidos. El primer grupo de vehículos ensayados fueron los superminis, cuyos resultados se publicaron en febrero de 1997.

Desde los comienzos del programa al gobierno de Reino Unido se le sumaron los gobiernos de Suecia, Alemania, Francia, Holanda y la Generalitat de Cataluña, así como la Comisión Europea, la FIA y otras organizaciones del automóvil y de consumidores europeas.

El programa EuroNCAP en sus comienzos se fue desarrollando por fases. La cronología de las primeras fases se detalla a continuación:

- Fase 1: Superminis, febrero de 1997
- Fase 2: Familiares grandes, julio de 1997
- Fase 3: Familiares pequeños, mayo 1998
- Fase 4: Turismos de lujo, septiembre 1998
- Fase 5: Familiares pequeños, enero 1999
- Fase 6: Monovolúmenes, junio 1999
- Fase 7a: Superminis, febrero de 2000
- Fase 7b: Impactos contra poste, marzo 2000.



En los años sucesivos el número de fases realizadas por año así como el número de tipos de vehículos ensayados fue aumentando progresivamente. En la actualidad los test EuroNCAP se han convertido en una de las referencias a nivel de seguridad en Europa.

Además de la protección de los ocupantes, EuroNCAP se centró en la evaluación de las características de los vehículos en cuanto a la protección de los peatones y posteriormente en la protección de los niños, evaluando los sistemas de retención infantil.

### 2.3.2 Miembros de EuroNCAP

El programa EuroNCAP está formado por los gobiernos de distintos países así como por la Comisión Europea, la FIA y distintas organizaciones de usuarios y del automóvil.

Los miembros más importantes que componen la EuroNCAP son los siguientes:

- ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club), Alemania.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau – und Wohnungswesen. Alemania.
- Department for Transport. Reino Unido
- Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Holanda.
- FIA, Foundation for the Automobile and Society.
- Generalitat de Catalunya. Departamento de Trabajo e Industria. España.
- ICRT (International Consumer Research and Testing). Reino Unido.
- Sécurité Routière. Ministère de l'Équipement. Francia.
- SNRA (Swedish National Road Administration). Suecia.
- Thatcham. Reino Unido.

Los participantes en los primeros ensayos del programa en 1997 fueron el Departamento de Transportes del Reino Unido, la Administración Nacional de Carreteras de Suecia, la asociación de consumidores Internacional Testing y los clubes de automovilistas británicos RAC y AA.

Posteriormente se unieron al programa la Unión Europea, los gobiernos de Holanda, Francia, Alemania y Cataluña, el club de automovilistas alemán ADAC, la asociación Internacional Consumer Research and Testing y por último el Centro de Investigación de las Aseguradoras en el Reino Unido, Thatcham.

En España la difusión de los resultados obtenidos se ha llevado a cabo mediante los principales clubes del automóvil (RACC y RACE) como miembros de la FIA [25].

### 2.3.3 Protocolos de ensayo

En esta sección se va a proceder a explicar las características de cada uno de los ensayos que se engloban dentro del programa EuroNCAP.

El ensayo objeto de estudio es el impacto frontal, por lo que se procederá a dar una visión más detallada de los parámetros del test.

#### 2.3.3.1. Impacto frontal

Los ensayos de impacto frontal se basan en los test desarrollados por el Comité Europeo para la mejora de la Seguridad en el Automóvil, aunque incrementando la velocidad de impacto en 8 Km/h.

El ensayo consiste en estrellar el vehículo de ensayo frontalmente contra una barrera deformable de aluminio a una velocidad de 64 km/h (+/- 1 Km/h). Esta velocidad simula un choque entre dos vehículos circulando a 55 Km/h. La diferencia de velocidades se debe a la energía que cada choque absorbe durante la colisión. Las investigaciones de los accidentes han demostrado que a esta velocidad de choque abarca un porcentaje significativo de los accidentes graves y mortales.

A continuación se muestra un esquema que representa la situación de los diferentes elementos en el ensayo (figura 2.8):

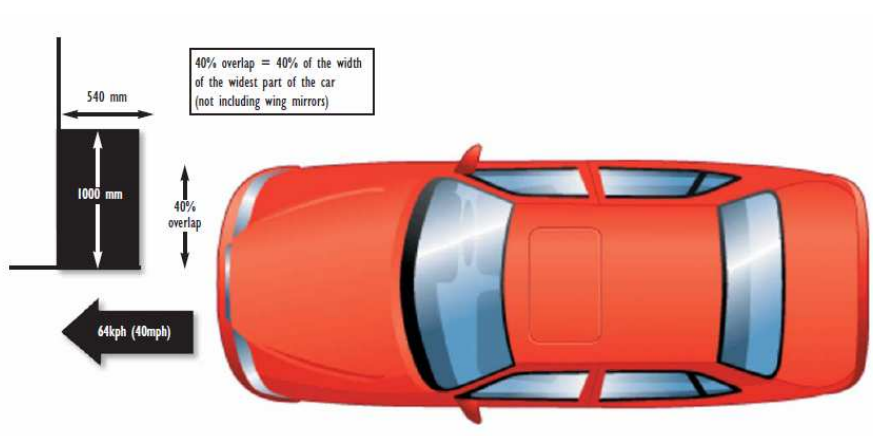


FIGURA 2.8: ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO FRONTAL.

Como la mayoría de los choques frontales únicamente afecta a una parte del frente del coche, la prueba se organiza para simular un choque frontal parcial. Esta situación se simula haciendo que el 40 % del vehículo choque contra la barrera.

La prueba busca medir la capacidad del coche para superar el choque sin sufrir la intrusión en la cabina de pasajeros. El contacto entre el pasajero y las partes intrusivas de la cabina de pasajeros es la principal causa de lesiones graves y fatales en pasajeros adultos sujetos con el cinturón de seguridad.

### 2.3.3.2 Impacto Lateral

El ensayo consiste en conducir contra el lado del conductor del vehículo un carro sobre el que se fija una barrera deformable. La masa total del carro alcanza un valor de 950 Kg (+/- 20 Kg) y la velocidad de impacto es de 50 Km/h.

En la siguiente figura se muestra un esquema del ensayo en Reino Unido (figura 2.9):

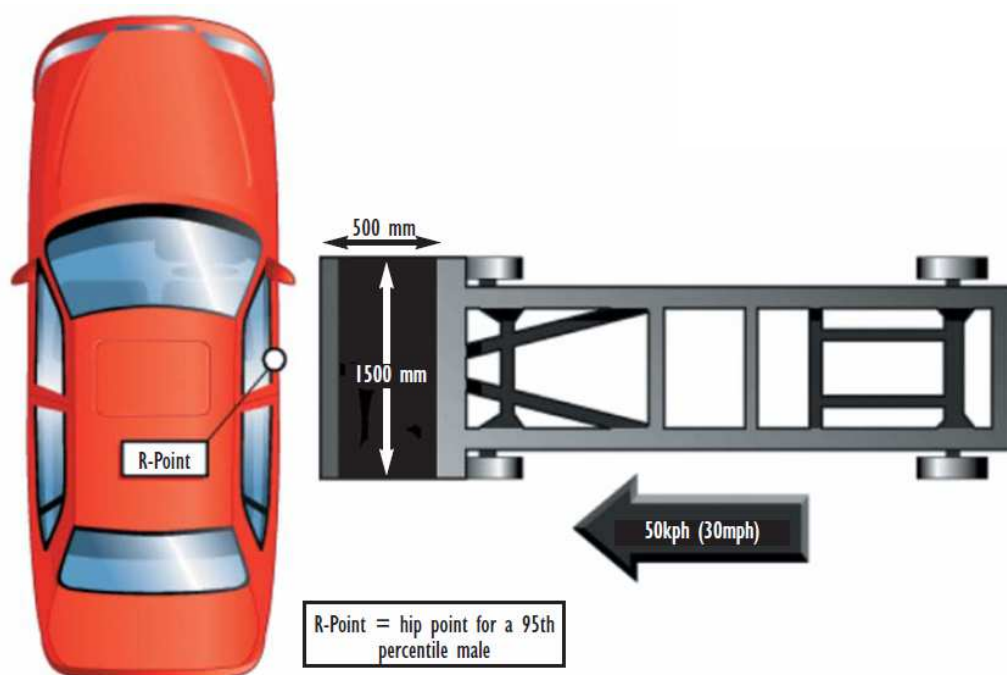
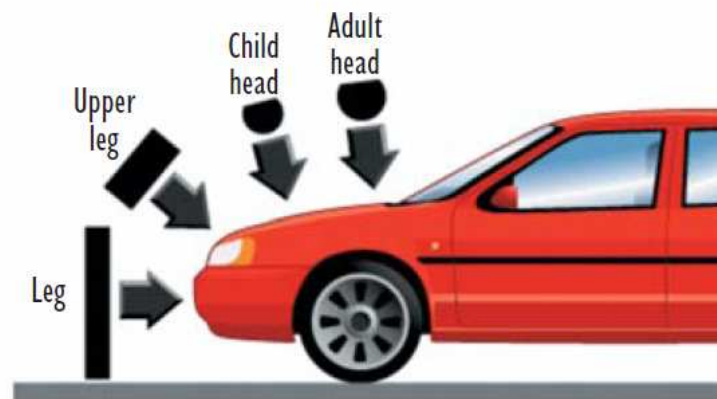


FIGURA 2.9: ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO LATERAL.

La posición relativa entre el vehículo y el carro es aquella en la que el centro de la barrera deformable coincide con el denominado punto "R" del vehículo. Este punto "R" se halla sobre la estructura del vehículo y su localización ha de ser facilitada por el fabricante.

### 2.3.3.3 Ensayos para la protección de los peatones

Los ensayos de protección de peatones se realizan para simular accidentes en los que se ven implicados peatones adultos y niños. La velocidad a la que se lanza el vehículo es de 40 Km/h.



**FIGURA 2.10: ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO PARA PROTECCIÓN DE LOS PEATONES.**

Una de las dificultades con las que se encuentra este tipo de ensayos es evaluar la protección de los peatones utilizando un maniquí completo. Aunque es posible controlar el punto de impacto del capó contra la pierna del peatón, es prácticamente imposible controlar si la cabeza del maniquí se golpeará después.

La forma de solventar esta problemática consiste en realizar ensayos con componentes individuales. De esta forma se evalúan por separado la protección que ofrecen a los peatones las distintas partes de la zona delantera del vehículo (capó, borde y parte superior del capó).

A continuación se enumeran los cuatro ensayos que se llevan a cabo para la evaluación de la seguridad de los peatones (figura 2.10):

- *Impacto con la forma de pierna sobre el paragolpes*
- *Impacto con la forma de la parte superior de la pierna contra el paragolpes*
- *Impacto con la forma de la parte superior de la pierna contra el borde delantero del capó*
- *Impacto con la forma de cabeza sobre el capó*

### 2.3.3.4 Impacto contra poste

El ensayo de impacto contra poste consiste en lanzar el vehículo (montado sobre un carro) lateralmente contra un poste rígido a una velocidad de 29 Km/h (+/- 0.5 Km/h).

La principal característica de este ensayo reside en la sección longitudinal del poste, la cual, es lo suficientemente estrecha como para originar fuertes presiones en la estructura del vehículo, lo que produce elevadas intrusiones del poste en el lateral de la estructura. La parte inferior del poste no debe estar a más de 102 mm con respecto al nivel más bajo del neumático, mientras que la parte superior debe sobresalir en una altura mínima de 100 mm por encima del punto más alto del techo del vehículo.

En la siguiente figura se muestra un esquema del ensayo:

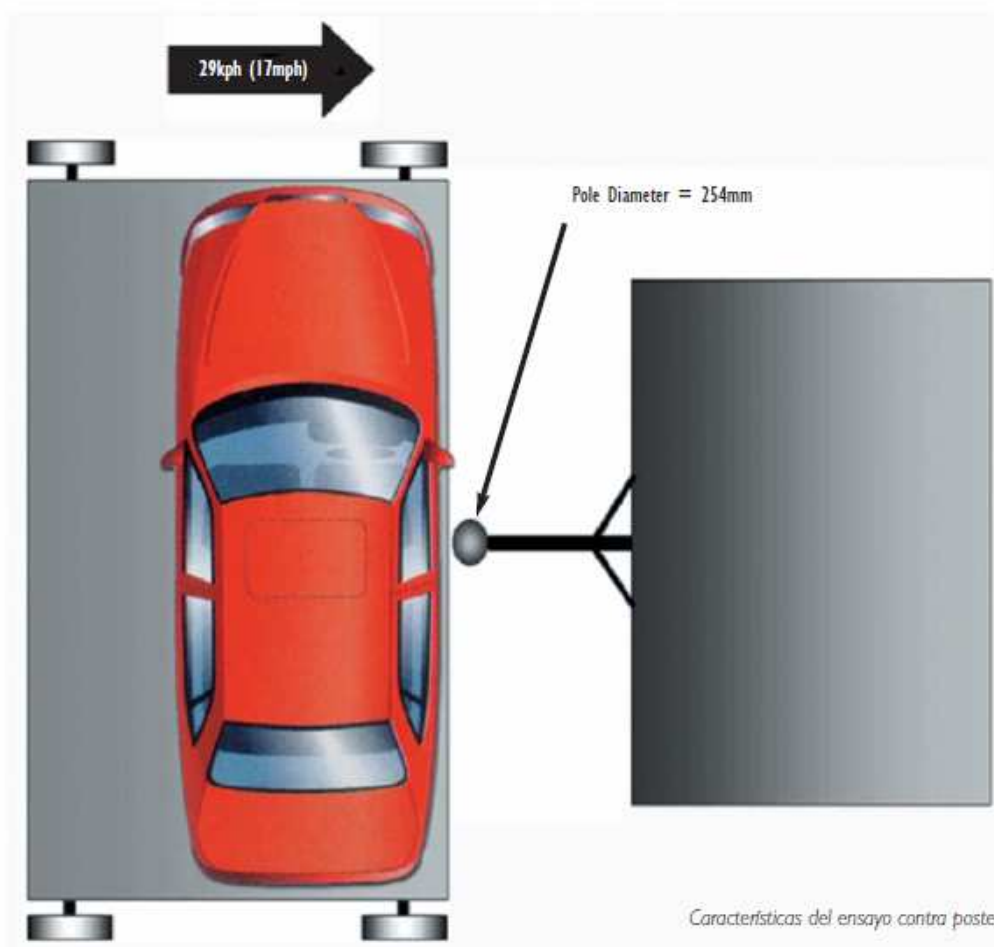


FIGURA 2.11: ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO CONTRA POSTE.



Un dato importante a tener en cuenta es el hecho de que esta prueba es opcional, únicamente se realiza a petición del fabricante. Para poder acceder a este ensayo es condición indispensable que el vehículo haya obtenido la máxima puntuación en el ensayo de impacto lateral [26].

### 2.3.4 Otros proyectos similares

El programa EuroNCAP no es el único proyecto que busca mejorar la seguridad de los vehículos. Actualmente existen otras organizaciones y administraciones que evalúan la seguridad de los vehículos desde el punto de vista de la protección de los ocupantes.

A continuación se van a explicar brevemente las características de los proyectos más relevantes:

#### 2.3.4.1 NCAP (New Car Assessment Program)

Proyecto perteneciente al Departamento de Transporte de Estados Unidos. Este protocolo proporciona información a los usuarios sobre impactos frontales, laterales y también sobre vuelco.

A continuación se va a proceder a comentar brevemente las características de los distintos para mostrar las diferencias con el protocolo EuroNCAP.

- *Ensayo de impacto frontal*

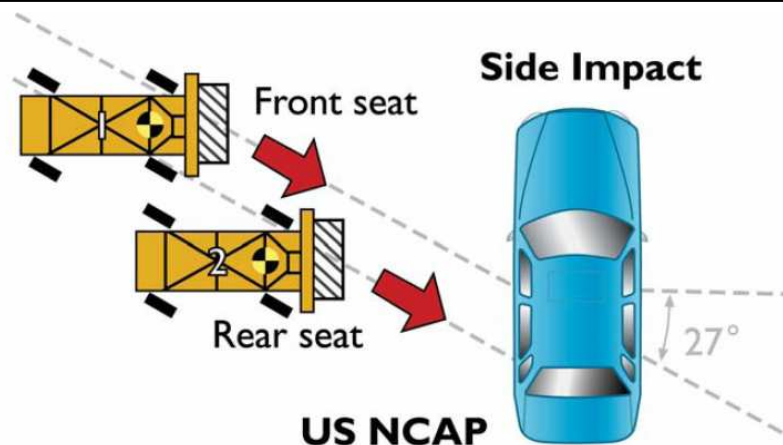
El ensayo se realiza haciendo chocar el vehículo contra una barrera rígida indeformable a una velocidad de 56 Km/h. Para este ensayo se utiliza un solape total (100%).

- *Ensayo de impacto lateral*

Para este ensayo se hace impactar en el lateral del vehículo (lado del conductor) un carro con una masa de 1368 Kg. El carro dispone de una barrera deformable para simular el impacto recibido por otro vehículo. La velocidad a la que se produce el impacto es de 61,6 Km/h.

Una de las características que diferencia este ensayo del realizado mediante el protocolo EuroNCAP, a parte de la velocidad de ensayo, es el ángulo de incidencia. El carro se conduce de tal manera que las ruedas formen un ángulo de 27° con la horizontal (tal y como puede verse en la imagen 2.12).





**FIGURA 2.12: ESQUEMA EXPLICATIVO DEL ENSAYO DE IMPACTO LATERAL PROTOCOLO NCAP.**

Mediante esta configuración se aplica la fuerza de impacto bajo un ángulo de  $63^\circ$  con el eje longitudinal del vehículo.

El ensayo lateral se realiza dos veces, en una el carro impacta en la zona del conductor y en la otra el choque se produce en la zona del pasajero trasero situado tras el conductor.

- *Ensayo de vuelco*

Este tipo de test no se encuentra englobado dentro del protocolo EuroNCAP. El vehículo se conduce en línea recta a una velocidad constante (56, 64, 72, 76 y 80 Km/h) hasta que se determina la velocidad a la que los neumáticos pierden el contacto con el suelo. El ensayo se realiza tanto para giros a izquierdas como a derechas.

#### **2.3.4.2 ANCAP (Australian New Car Assessment Program)**

El programa denominado bajo las siglas ANCAP engloba a diferentes asociaciones del automóvil australianas y neozelandesas, así como administraciones tanto australianas como neozelandesas.

En su nacimiento este protocolo se basó en las directrices marcadas por la NCAP, pero en 1999 adoptó los ensayos y criterios de evaluación de la EuroNCAP, por lo que son programas prácticamente iguales.

#### **2.3.4.3 JNCAP**

El Ministerio de Infraestructuras y Transporte Japonés en cooperación con la Agencia Nacional para la Seguridad en el



Automóvil y Ayuda a las Víctimas (NASVA) se encargan de promover este proyecto.

A continuación se va a proceder a explicar brevemente las características de los ensayos que se llevan a cabo mediante este protocolo.

- *Ensayo de impacto frontal con solape total*

Este test se lleva a cabo haciendo impactar el vehículo contra una barrera indeformable a una velocidad de 55 Km/h. El solape entre el vehículo y la barrera es del 100 %.

- *Ensayo de impacto con un solape determinado*

El ensayo se realiza a una velocidad de 64 Km/h y el impacto se produce contra una barrera deformable. El solape que se utiliza es del 40 %

- *Ensayo de impacto lateral*

El ensayo se efectúa lanzando un carro con una velocidad de 55 Km/h contra el vehículo objeto de estudio. Dicho carro dispone de una barrera deformable y cuenta con una masa total de 950 Kg.

### **2.3.4.4 IIHS (Insurance Institute for Highway Safety)**

El IIHS es una organización sin ánimo de lucro fundada por las diferentes compañías de seguros de Estado Unidos. Bajo estas siglas se ejecutan diferentes ensayos, los cuales se van a exponer brevemente a continuación.

- *Ensayo de impacto frontal*

El ensayo se efectúa a una velocidad de 64 Km/h contra una barrera deformable. Este test es completamente análogo a ensayo de impacto frontal del protocolo EuroNCAP.

- *Ensayo de impacto lateral*

Este test se realiza impactando perpendicularmente contra el lateral del lado del conductor a una velocidad de 50 Km/h. El carro dispone de una barrera deformable y cuenta con una masa total de 1500 Kg [27].



## CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE



Para finalizar este apartado se incluye una tabla en la que se resumen las principales características de cada uno de los ensayos que se han explicado anteriormente:

		EURONCAP	NCAP	ANCAP*	JNCAP	IIHS
Impacto frontal con solape total	Velocidad	X	56 Km/h	X	55 Km/h	X
	Tipo de barrera	X	Rígida	X	Rígida	X
Impacto frontal con solape parcial (offset)	Grado de solape	40%	X	40%	40%	40%
	Velocidad	64 Km/h	X	64 Km/h	64 Km/h	64 Km/h
	Tipo de barrera	Deformable	X	Deformable	Deformable	Deformable
Impacto lateral	Ángulo de impacto (respecto eje longitudinal vehículo)	90°	63°	90°	90°	90°
	Velocidad	50 Km/h	61.6 Km/h	50 Km/h	55 Km/h	50 Km/h
	Masa de carro	950 Kg.	1.368 Kg.	950 Kg.	950 Kg.	1.500 Kg.
	Tipo de barrera	Deformable	Deformable	Deformable	Deformable	Deformable

**TABLA 2.1: COMPARATIVA ENTRE LOS DISTINTOS PROTOCOLOS DE ENSAYOS**

### 2.3.5 Nivel de presencia en el parque móvil español

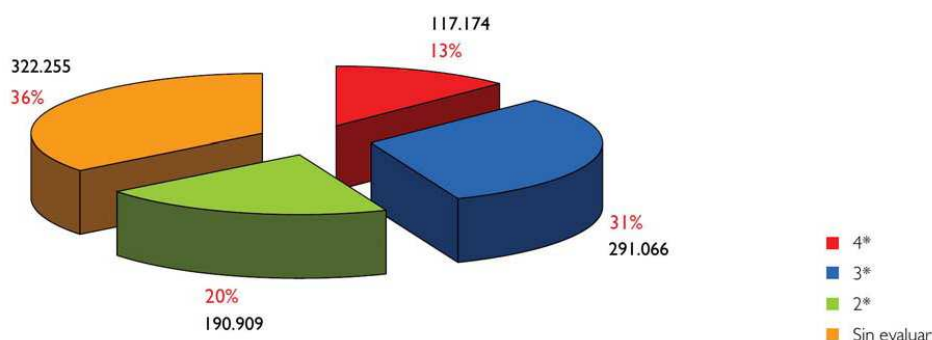
El protocolo EuroNCAP ha ido evolucionando desde su nacimiento hasta convertirse en la referencia a nivel europeo en cuanto a la evaluación de la seguridad en los vehículos. Esta evolución queda perfectamente reflejada mediante el constante crecimiento del nivel de presencia de estos ensayos en el parque móvil español.

En las figuras siguientes se muestra la evolución del proyecto EuroNCAP, reflejado en el incremento del porcentaje de vehículos evaluados entre los 30 modelos más vendidos. Igualmente, en estas figuras se refleja la evolución de la seguridad en los vehículos mediante la distribución del número de estrellas adjudicadas a cada modelo,

- *Año 1998*

Los 30 modelos más vendidos en España en el año 1998 alcanzaron un cuota del 72,6 % del total de unidades vendidas.

Distribución de la evaluación EuroNCAP  
en los 30 modelos más vendidos del año 1998



**FIGURA 2.13: DISTRIBUCIÓN DE LA EVALUACIÓN EURONCAP DE LOS 30 MODELOS MÁS VENDIDOS DEL AÑO 1998.**

De los 30 modelos 21 de ellos fueron evaluados por EuroNCAP.

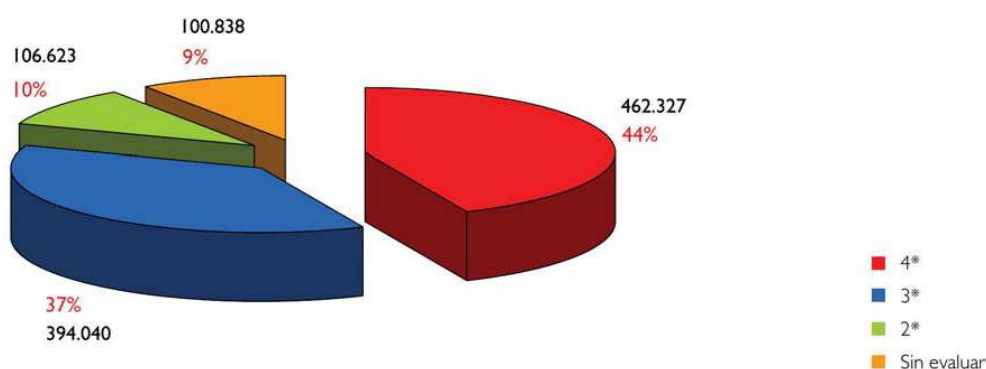
- *Año 1999*

El porcentaje alcanzado por los 30 modelos más vendidos ascendió al 73,3 % del total. Durante este año 24 de estos 30 vehículos fueron evaluados por EuroNCAP.

- *Año 2000*

El 86,7 % de los 30 vehículos más vendidos fueron sometidos a los test EuroNCAP

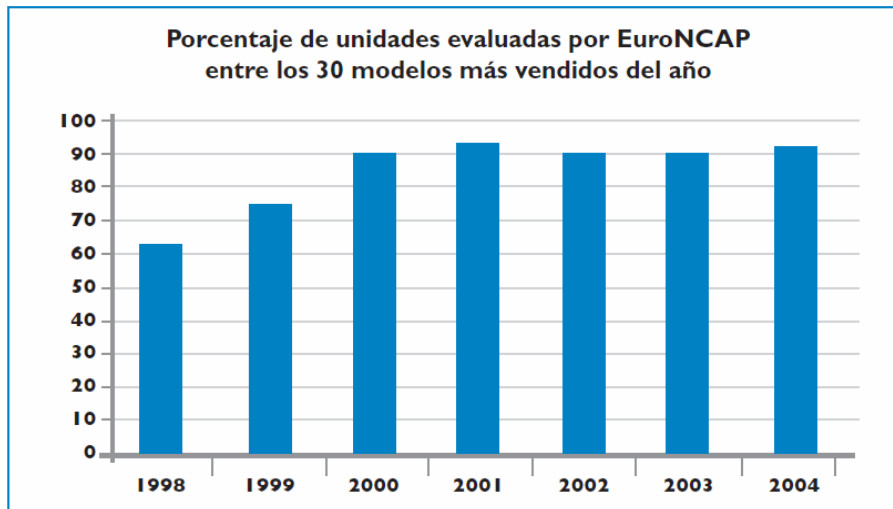
Distribución de la evaluación EuroNCAP  
en los 30 modelos más vendidos del año 2000



**FIGURA 2.14: DISTRIBUCIÓN DE LA EVALUACIÓN EURONCAP DE LOS 30 MODELOS MÁS VENDIDOS DEL AÑO 2000.**

Esta tendencia continuó durante los siguientes años. En el año 2004 de los 30 modelos más vendidos en España el 90 % fueron

evaluados por EuroNCAP. Esta evolución puede verse en el siguiente gráfico (figura 2.15) [28].



**FIGURA 2.15: EVOLUCIÓN DEL PORCENTAJE DE UNIDADES EVALUADAS POR EURONCAP.**

***CAPÍTULO III:***

***GENERACIÓN DEL MODELO***



### 3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y PROCESO DE SELECCIÓN

El punto de partida para cualquier estudio, análisis o ensayo es la recopilación de información sobre el tema sobre el que se va a profundizar. Este primer paso, en multitud de ocasiones marca el desarrollo futuro del estudio, por tanto, es fundamental que la recopilación de datos se realice de fuentes fiables para no comenzar con errores desde la concepción del proyecto.

Antes de comenzar con el proceso de recopilación de información se procedió a acotar la búsqueda; tras analizar los distintos modelos de todo-terreno existentes, se concretó la búsqueda en tres modelos:

- BMW X5
- RANGE ROVER
- MERCEDES ML 400

A continuación se va a exponer las diferentes fases en el proceso de obtención de información técnica necesaria.

#### 3.1.1 Solicitud de información a constructores

Esta primera etapa se centró en la solicitud de información de la fuente más fiable que se puede encontrar para obtener datos técnicos de vehículos, los propios constructores.

El primer paso consistió en varias visitas a distintos concesionarios y talleres de los tres modelos. Lo más destacable de esta primera fase fue comprobar la poca predisposición de los constructores a facilitar datos de alguno de sus modelos (únicamente se consiguió un catálogo de venta al público de los tres vehículos).

La siguiente etapa se centró en la petición de información a los servicios técnicos de las marcas. En Mercedes y BMW se negaron a facilitar cualquier tipo de dato fuera de la información que hay disponible en catálogos y revistas del segmento. El servicio técnico de Land Rover, situado en Inglaterra mostró mayor grado de cooperación; el contacto se llevó a cabo vía correos electrónicos en los que se les solicitaba información técnica (catálogo de despiece, dimensiones y peso del motor así como materiales de carrocería, chasis y bastidor) y en su respuesta se comunicaba que la petición había sido tramitada. Tras varias semanas de espera se recibió un correo electrónico en el que se denegaba la solicitud debido a que la información solicitada era de carácter confidencial.



Ante las diversas negativas se desestimó seguir buscando información directamente de los constructores debido a su escasa colaboración.

### 3.1.2 Recopilación de información de Internet

Una vez agotada la vía de los constructores se procedió a buscar información a través de Internet.

Las primeras búsquedas se centraron principalmente en la localización de manuales de taller y de despiece. Como resultado se obtuvieron varios manuales de taller del Range Rover, mientras que de los otros dos modelos la información encontrada fue prácticamente nula.

Finalizada la fuente de las búsquedas genéricas en Internet se pasó a solicitar información en distintos foros especializados en todo-terrenos y en especial en aquellos orientados hacia alguno de los modelos objeto de la búsqueda. En concreto el foro en el que se encontraron más datos fue [www.clublandrovertt.org](http://www.clublandrovertt.org); En este foro se encontraron varias referencias sobre aplicaciones informáticas que poseen las propias marcas en las que viene una gran cantidad de información técnica sobre los distintos modelos que comercializan. A partir de estas referencias se procedió a buscar las aplicaciones de Land Rover, Mercedes y BMW.

Para localizar estas aplicaciones se procedió a solicitar información en todo tipo de foros y páginas web de mecánica. Se consiguió encontrar varias aplicaciones, destacando las siguientes:

- *BMW TIS*

Consiste en una aplicación gracias a la cual se puede gestionar el funcionamiento de un taller mecánico. Posee funciones como la de gestión de stock, solicitud de pedidos, localizador de piezas por modelos y características técnicas de piezas y componentes.

- *BMW ETK*

Aplicación que simula un catálogo en el que se pueden localizar piezas y componentes del vehículo. Esta creada fundamentalmente para una misión comercial ya que gran parte de la información que posee se centra en las diferentes configuraciones del vehículo que un comprador puede hacer antes de proceder a la compra.





- *BMW ETM*

Aplicación que permite buscar la información deseada en los manuales de taller. Esta aplicación divide dichos catálogos por partes en función del sistema del vehículo al que se refiere, por lo que facilita en gran medida la búsqueda de una información determinada.

- *AUTODATA*

Aplicación informática en la que se puede encontrar información técnica de muchos modelos existentes en el mercado. Los datos de los que dispone son menos concretos que los que pueden aportar cualquiera de los programas anteriormente mencionados.

- *LAND ROVER RAVE*

Aplicación que aglutina todos los catálogos existentes de varios modelos de Land Rover. Permite buscar los datos deseados con facilidad debido a que divide dichos catálogos en función de los elementos del vehículo que comprende.

La localización de estas aplicaciones con innumerables datos técnicos ha sido fundamental para la realización de este proyecto. Esta información ha servido como punto de partida para la generación del modelo mediante Solid Edge.

Otro aspecto a reseñar es el hecho de que lo comentado hasta el momento ha sido únicamente el punto de partida; una vez comenzada la creación del modelo mediante Solid Edge constantemente se ha tenido que recurrir a nuevas búsquedas para encontrar algún parámetro que se desconocía o se quería confirmar. Para completar cada una de las fases de la construcción del modelo se han visitado páginas web específicas (páginas de constructores de chasis, constructores de motores o empresas dedicadas a la modificación de vehículos).

### **3.1.3 Proceso de selección**

Una vez recopilada toda la información que se ha expuesto anteriormente el siguiente paso para continuar con el proyecto consistió en elegir el vehículo que serviría como referencia para la construcción del modelo.

La primera operación que se llevó a cabo fue revisar los datos obtenidos y desestimar aquellos que no contaban con el contenido deseado. Los dos vehículos de los que se había encontrado mayor información eran:

- BMW X5 (año 2005)
- Range Rover (año 1998)

La elección del todo-terreno se fundamentó principalmente en la disponibilidad de datos sobre la geometría de carrocería y bastidor, dimensiones y peso del motor así como materiales de los que están compuestos los elementos anteriormente mencionados. Tras el análisis de toda la información disponible, el BMW X5 quedó descartado. La razón fundamental para desestimarlo fue la falta de datos referentes a la geometría de la carrocería y bastidor. Por tanto, el vehículo elegido como referencia para la creación del modelo fue el Range Rover del año 1998 (véase figura 3.1).



**FIGURA 3.1: RANGE ROVER**

### **3.1.4 Medidas de campo**

En la introducción a este capítulo se remarcó la importancia de los datos de partida a la hora de enfrentarse a un proyecto o investigación. Una vez iniciada la construcción del modelo se hizo patente la falta de datos de carácter geométrico, lo que reducía las posibilidades de crear un modelo fiel a la realidad.

La escasez de información disponible junto con la nula colaboración de los constructores originó que la última fase de la

recopilación de datos consistiese en tomar las medidas directamente de vehículos reales. Para ello se realizaron distintas visitas a un desguace de La Torre, en el cual se localizaron varios modelos accidentados. Se tomaron medidas de aquellas zonas que se encontraban intactas a pesar de los desperfectos que presentaban los vehículos. Una muestra del estado de los mismos puede verse en las siguientes imágenes:



**FIGURA 3.2: EJEMPLAR DE RANGE ROVER MEDIDO EN EL DESGUACE**



**FIGURA 3.3: EJEMPLAR DE RANGE ROVER MEDIDO EN EL DESGUACE**

A partir de estas mediciones se obtuvieron parámetros fundamentales para la creación modelo. Algunos de estos datos se enumeran a continuación:

- Secciones de largueros que conforman el bastidor



## CAPÍTULO 3: GENERACIÓN DEL MODELO



- Espesor del acero de chasis, largueros y chapas
- Geometría de la carrocería

Una de las principales ventajas de disponer de un modelo real (a parte de servir para completar los datos para la creación del modelo) consistió en poder verificar, a medida que se iba avanzando en la creación, que el modelo correspondía con la realidad.

Para esta fase no sólo se utilizaron vehículos con daños originados por accidentes sino que se consiguió localizar un todo-terreno en perfecto estado de conservación. De esta fuente se consiguió la posición relativa del sillón respecto del chasis, lo que sirvió para calcular aproximadamente la posición de la cabeza del conductor en el momento del impacto.

## 3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MEDIANTE SOLID EDGE

En el apartado anterior se describió el proceso de recopilación y análisis de la información necesaria para la construcción del modelo. A partir del momento en el que se dispuso de suficiente información para comenzar el modelado del vehículo, se pasó a construir el vehículo mediante el programa de diseño asistido por ordenador denominado *Solid Edge* [29]. Para la creación del todoterreno se utilizó la versión 18 de este software de diseño.

En los siguientes apartados se explicarán brevemente los diferentes entornos de los que se dispone el programa para el modelado de piezas y conjuntos mecánicos.

### 3.2.1 Introducción a Solid Edge

Solid Edge es una aplicación de diseño asistido por ordenador (CAD) para el modelado de conjuntos y piezas mecánicas. Este software de diseño cuenta con diferentes entornos en función de las necesidades del usuario, de esta forma se pueden distinguir las siguientes opciones: pieza sólida, pieza de chapa, soldadura, conjunto, plano y soldadura.

Una vez que se inicializa el programa aparece la ventana mostrada en la figura 3.4, a partir de la cual se puede elegir el entorno en función de lo que se desea diseñar [30].



FIGURA 3.4: MENÚ INICIO DE SOLID EDGE.

A continuación se procederá a explicar cada uno de los módulos anteriormente comentados.

### 3.2.1.1 Entorno pieza sólida

Para acceder al entorno dedicado al diseño y creación de piezas sólidas se debe hacer *click* sobre la opción del menú principal denominada *pieza sólida* [31]. El menú que se presenta para este entorno es el mostrado en la figura 3.5.

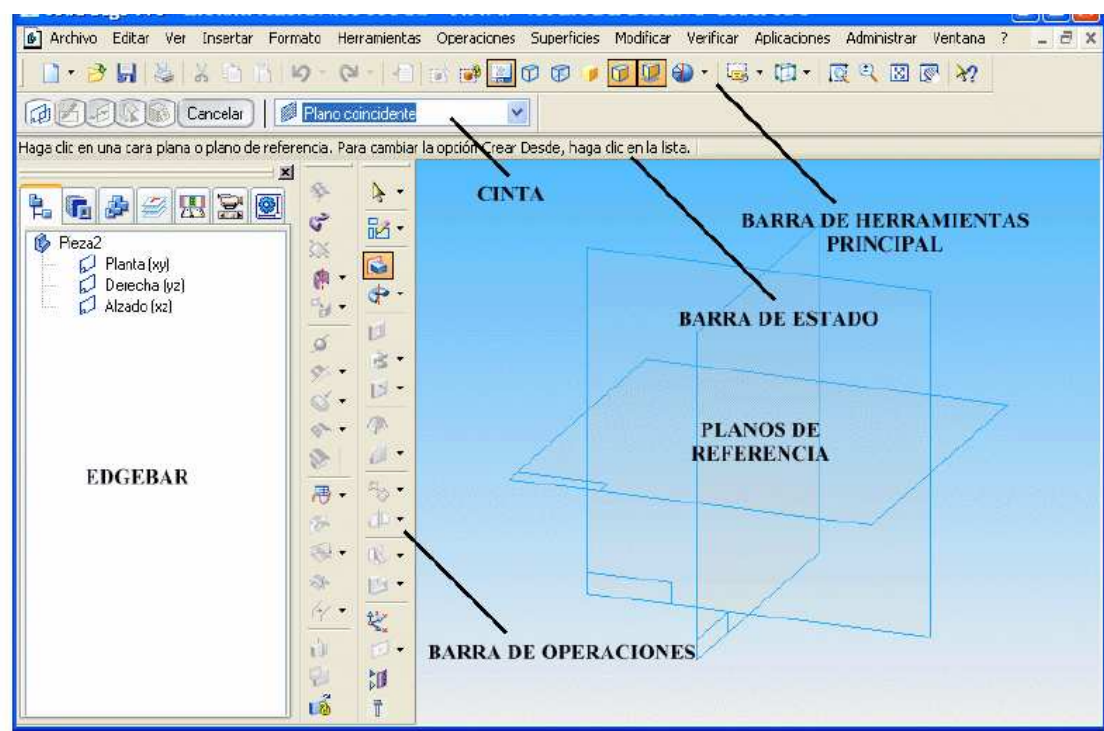


FIGURA 3.5: ENTORNO DE SOLID EDGE PARA DISEÑO DE PIEZAS SÓLIDAS.

La ventana del menú de pieza sólida se encuentra dividida en diferentes zonas, tal y como puede verse en la imagen anterior. A continuación se va a explicar cada una de ellas:

- *Barra de herramientas principal*

La barra de herramientas principal se asemeja a cualquier otra del entorno Windows; en ella se encuentran los iconos de abrir, guardar, imprimir...



- *Barra de estado*

En esta barra se pueden encontrar mensajes de ayuda. En ella se identifica la operación que se está llevando a cabo así como las instrucciones para su correcta ejecución.

- *Barra de operaciones*

En esta zona se hallan los iconos con las distintas operaciones que se pueden efectuar para el modelado de las piezas. Los iconos de esta barra de herramientas son dinámicos, es decir, en función de la operación que se esté realizando se mostrarán unos u otros iconos.

- *Cinta*

En esta zona se encuentran los iconos correspondientes a la secuencia de pasos para la ejecución correcta de la operación activa.

- *Edgebar*

En esta sección del entorno de modelado de piezas sólidas se sitúan de forma secuencial las operaciones efectuadas para la construcción de la pieza. La edgebar es fundamental para la gestión de tareas.

- *Planos de referencia*

Los planos de referencia se encuentran localizados en el interior de la zona de trabajo y se encargan de indicar los planos principales de trabajo.

La construcción del todo terreno se ha efectuado a partir del entorno de pieza sólida. A continuación se va a exponer brevemente las diferentes operaciones existentes en este módulo, a partir de las cuales se ha construido el modelo.



*Superficie extruída:* se utiliza para crear superficies proyectando un contorno en una dirección determinada.



*Superficie de revolución:* se usa para generar una superficie de revolución haciendo girar un contorno a lo largo de un eje.



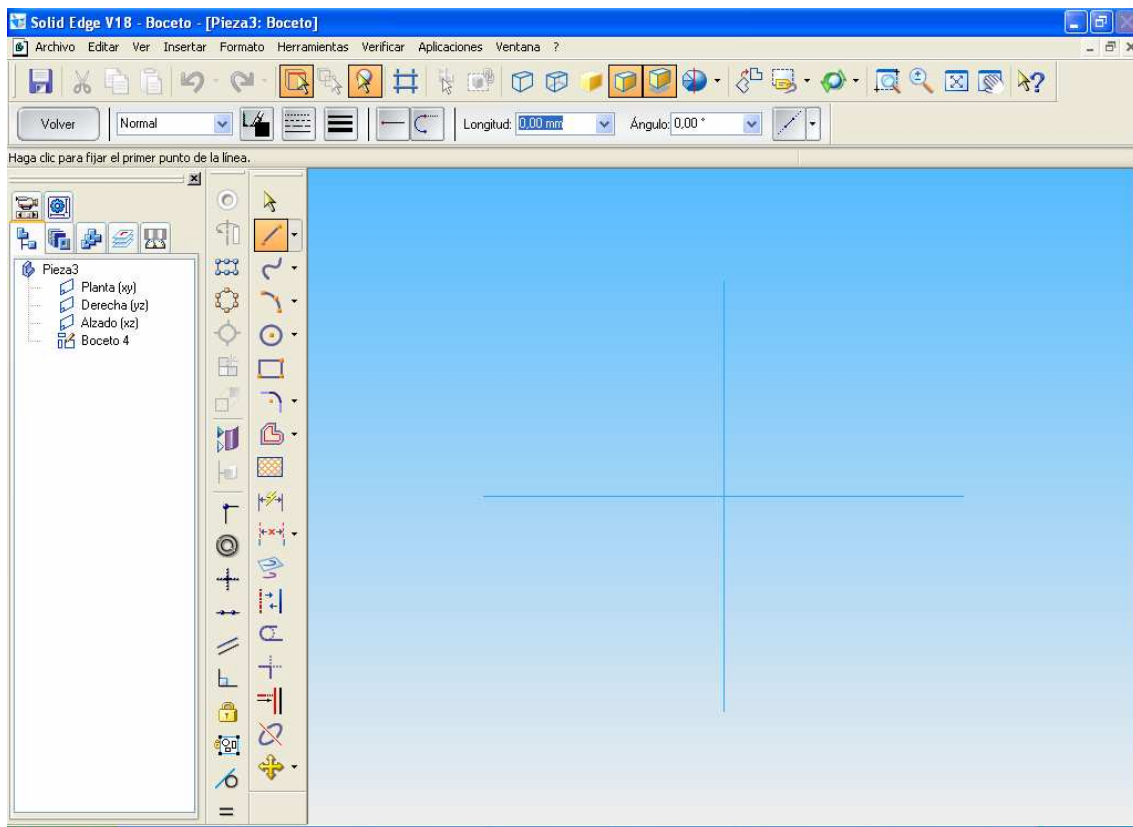
*Superficie limitada:* se emplea para formar una superficie delimitada por un contorno cerrado.





**Boceto:** se utiliza para la creación de elementos de referencia para las operaciones anteriores.

Los bocetos se convierten en herramientas fundamentales a medida que los elementos a diseñar se van haciendo más complicados. La barra de operaciones se transforma al seleccionar el icono *boceto*, tal y como se muestra en la figura 3.6. A continuación se explicará la función de los nuevos iconos más importantes.



**FIGURA 3.6: OPERACIONES DISPONIBLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BOCETOS.**



**Línea:** este comando se utiliza para crear líneas. Al pulsar este icono se despliega un pequeño menú en el cual se permite la creación de líneas rectas, puntos o líneas libres según el arrastre del cursor.



**Línea curva:** este icono se usa para crear líneas curvas.





*Arcos de circunferencia:* se emplea para la generación de arcos de circunferencia. Al pulsar este icono se despliega otro menú en el cuál se aportan varias opciones para la creación del arco.



*Circunferencias:* se emplea para la generación de círculos. Se presentan varias opciones de creación: según centro y radio, tres puntos, centro y línea tangente y elipses.



*Smart dimension:* se usa para acotar la longitud de líneas rectas.



*Acotar distancia:* se emplea para acotar longitudes, radios y ángulos.



*Recortar:* se utiliza para recortar elementos a partir de intersecciones con otras líneas.

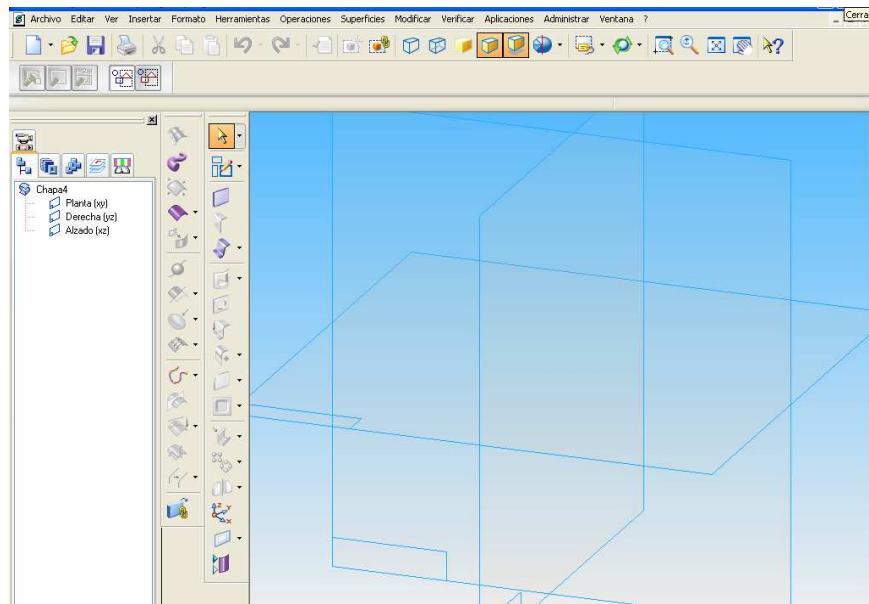
Las operaciones que se han expuesto hasta el momento constituyen las principales funciones que se han utilizado pero no son las únicas. En los apartados dedicados a la generación de cada una de las partes de vehículo se mostrarán todas las operaciones efectuadas.

### 3.2.1.2 Entorno pieza de chapa

El entorno de pieza de chapa se encuentra enfocado a la construcción de piezas de chapa. Al elegir la opción de pieza de chapa se abre la ventana que se muestra en la figura 3.7.



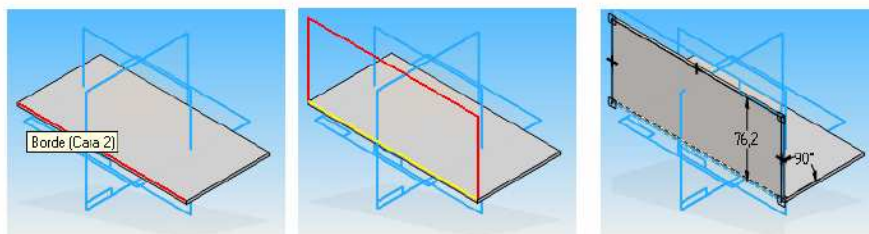
## CAPÍTULO 3: GENERACIÓN DEL MODELO



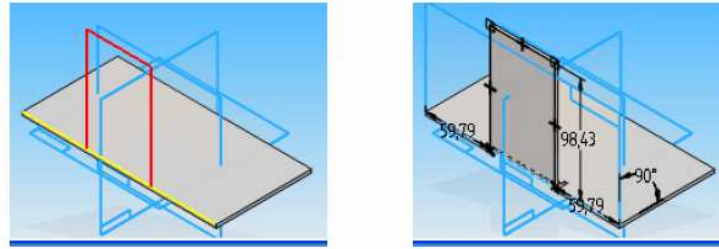
**FIGURA 3.7: ENTORNO DE SOLID EDGE PARA DISEÑO DE PIEZAS DE CHAPA.**

El entorno de esta aplicación se distribuye de forma análoga al encargado del modelado de piezas sólidas. El único cambio se encuentra en la barra de operaciones, en la que se pueden ver operaciones diferentes.

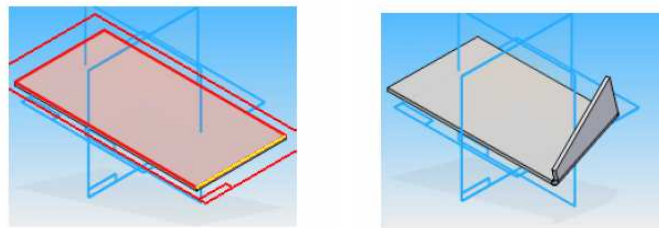
Este módulo se usa de un modo muy específico y no suele ser demasiado común trabajar con este tipo de piezas. La operación base se centra en la creación de una chapa base a la que se van añadiendo pestañas en distintas direcciones y con distintos radios de acuerdo. Una vez que se cuenta con una serie de chapas se pueden realizar operaciones de plegado total o parcial para la generación del modelo deseado. Un ejemplo de estas operaciones puede verse en las siguientes figuras:



**FIGURA 3.8: CREACIÓN DE UNA PESTAÑA.**



**FIGURA 3.9: CREACIÓN DE PESTAÑA PARCIAL.**



**FIGURA 3.10: CREACIÓN DE DOBLEZ TOTAL.**

Durante la construcción del modelo del todoterreno no se ha utilizado ningún recurso de este módulo por lo que no se hará mayor hincapié en esta aplicación.

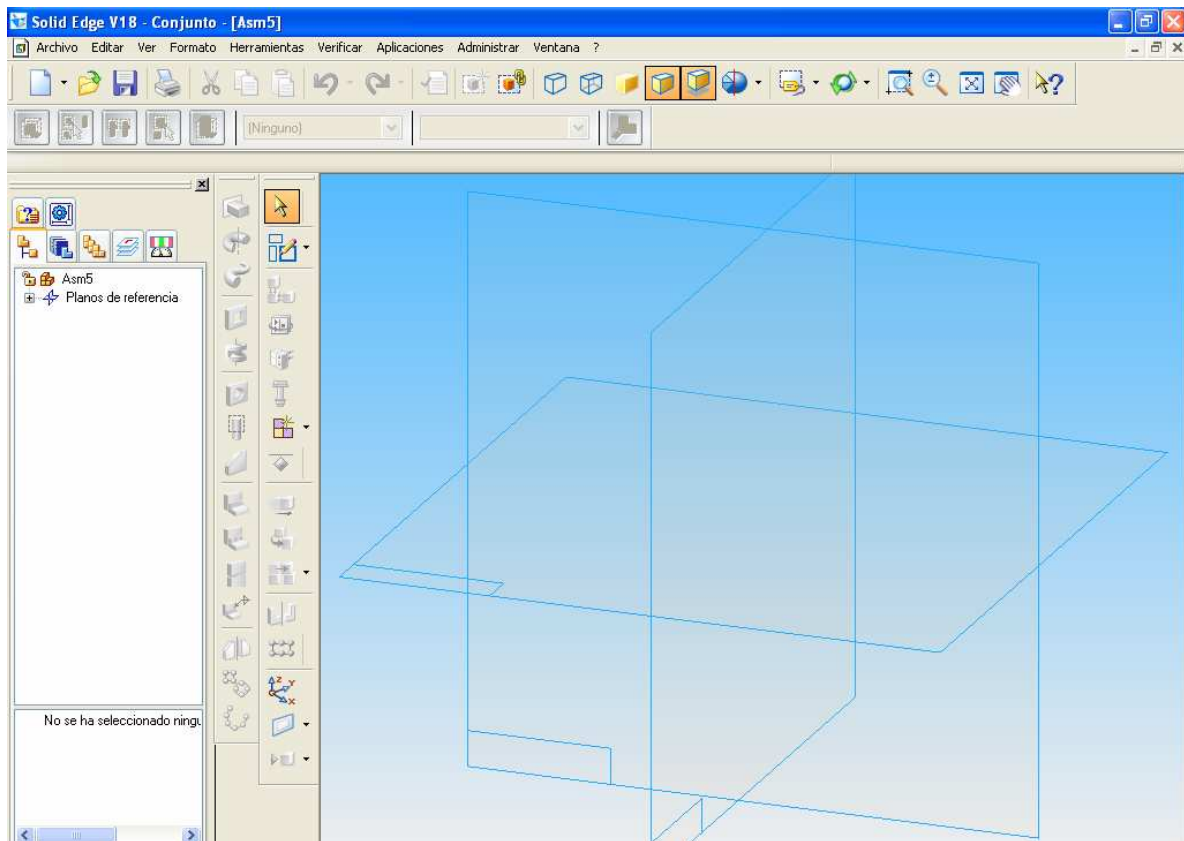
### 3.2.1.3 Entorno de conjunto

Hasta el momento se ha hecho referencia al módulo de pieza sólida y de chapa. Ambos entornos se encuentran diseñados para la creación de piezas individuales, nunca de conjuntos. Una vez que se han diseñado por separado los diferentes componentes de un sistema mecánico, se hace necesario ensamblarlos. En el entorno de conjunto se encuentran las herramientas necesarias para el ensamblado de los sistemas mecánicos [32].

El menú de conjuntos se abre desde la pantalla inicial de Solid Edge al elegirse la opción Conjunto. El aspecto de la ventana que se abre es el mostrado en la figura 3.11.




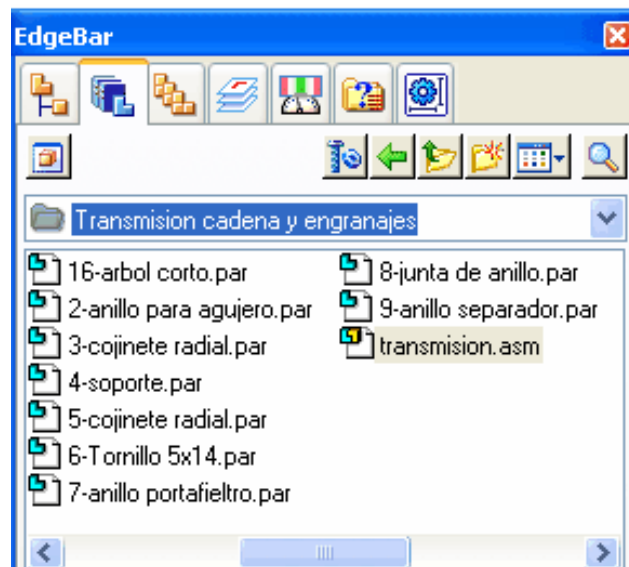
## CAPÍTULO 3: GENERACIÓN DEL MODELO



**FIGURA 3.11 ENTORNO DE SOLID EDGE PARA CREACIÓN DE CONJUNTOS.**

Dentro del menú de conjuntos no sólo se permite ensamblar las piezas ya creadas, sino que también se puede modificar las ya existentes e incluso crear otras nuevas dentro del conjunto creado.

En el  icono de la Edgebar (figura 3.11 se encuentran las piezas disponibles en un determinado directorio. Estas piezas pueden ser incluidas en el conjunto al ser arrastradas hasta la zona de trabajo.



**FIGURA 3.12: PIEZAS DISPONIBLES PARA LA CREACIÓN DEL CONJUNTO.**

Una vez se incluyen varias piezas en el conjunto se necesita crear una serie de relaciones entre ellas. A continuación se pasa a explicar las opciones de montaje más comunes que se encuentran disponibles en Solid Edge para el ensamblado de conjuntos:



**Ensamblar:** icono que se utiliza para abrir el menú de ensamblaje.



**Flashflit:** esta opción se usa para situar piezas de manera casi automática.



**Hacer coincidir:** Se utiliza para hacer coincidir dos caras. Las normales de las caras seleccionadas se enfrentan.



**Alinear caras:** se utiliza para alinear las caras seleccionadas. Las piezas se desplazan hasta que las normales de las caras seleccionadas tienen la misma dirección y sentido.



**Alineación de ejes:** se emplea para alinear los ejes de las piezas cilíndricas.



**Insertar:** se usa para insertar una pieza en otra.



**Paralelo:** se emplea para insertar una relación de distancia paralela entre dos piezas.



**Conectar:** Se utiliza para conectar dos piezas cuando no se permite usar *coincidir* y *alinear*.



**Ángulo:** se emplea para designar una relación angular entre dos piezas.



**Tangente:** se usa para aplicar una relación de tangencia entre dos piezas.



**Leva:** se utiliza para designar una relación de leva entre dos piezas del conjunto.



**Coincidir sistemas de coordenadas:** se emplea para hacer que los ejes de coordenadas de dos piezas coincidan.

A medida que se van aplicando las condiciones de ensamblaje a una pieza del conjunto, en la parte inferior de la edgebar van apareciendo las restricciones impuestas sobre dicha pieza. En la siguiente figura se muestra un resumen de las distintas restricciones.

Leyenda	
	Relación de anclaje
	Relación de coincidencia
	Relación de alineamiento plano
	Relación de alineamiento axial
	Relación de conexión
	Relación de ángulo
	Relación tangencial
	Relación de leva
	Relación paralela
	Relaciones suprimidas
	Relación fallida

**FIGURA 3.13: RESUMEN DE RELACIONES DE ENSAMBLAJE.**

Al finalizar el montaje se dispone de una opción para la verificación del correcto montaje. Se encuentra disponible la opción *comprobar interferencia* para comprobar la existencia de interferencias entre las piezas de un montaje.

### 3.2.1.4 Entorno de plano

Esta aplicación se utiliza para la generación de planos de piezas y conjuntos. Al inicializar el módulo de generación de planos aparece una ventana tal y como se muestra en la figura 3.14.

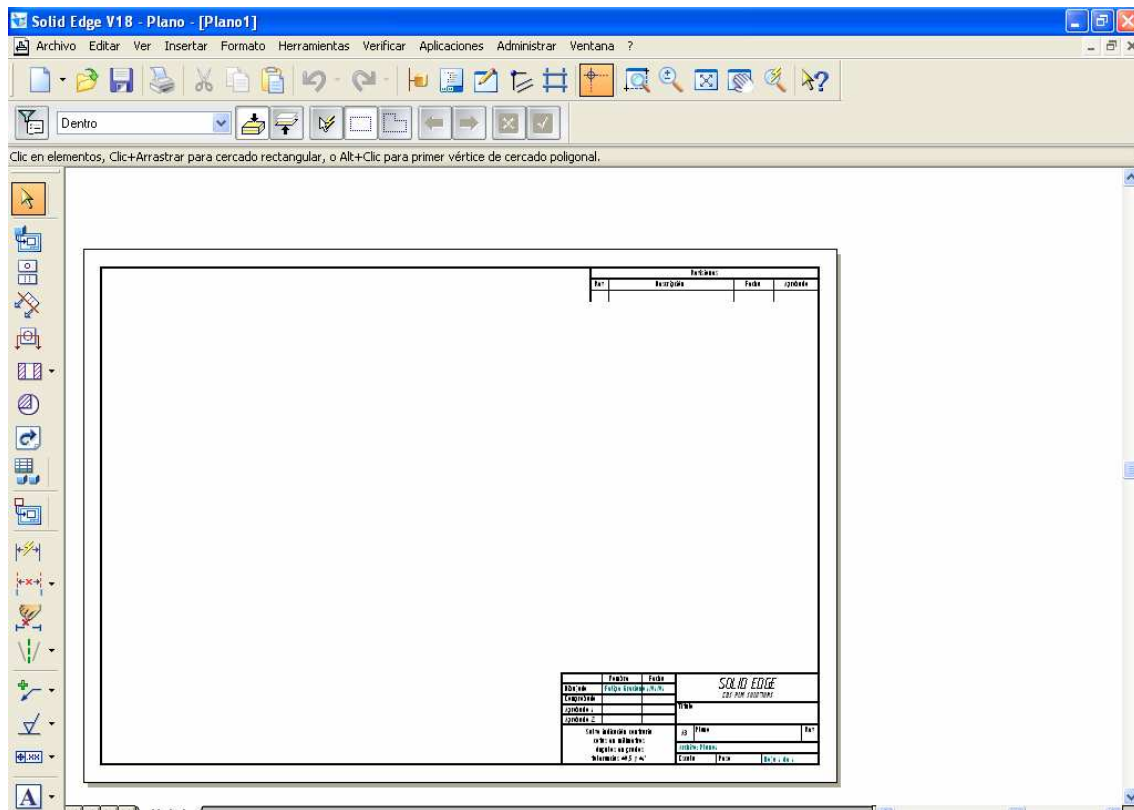


FIGURA 3.14: ENTORNO DESTINADO A LA GENERACIÓN DE PLANOS.

Dentro de este menú se pone a disposición del usuario la posibilidad de representar cortes de piezas, roturas y acotación. En la figura 3.15 se muestra un ejemplo en el que se puede ver el resultado de la aplicación de las herramientas que se acaban de enumerar.

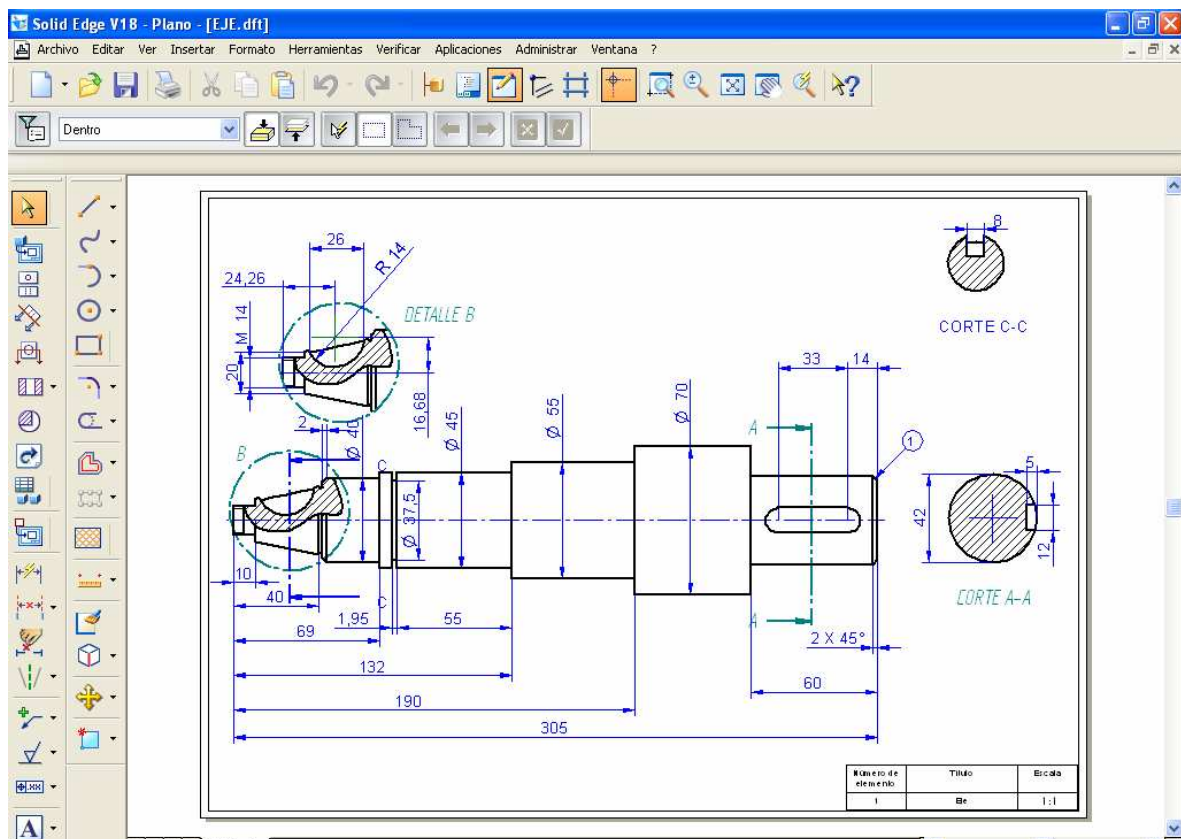


FIGURA 3.15: EJEMPLO PLANO DE DESPIECE ACOTADO.

### 3.2.1.5 Entorno de soldadura

En el entorno de soldadura de Solid Edge se pueden encontrar un conjunto de comandos para acelerar el diseño de piezas soldadas. El entorno específico de diseño de soldadura se utiliza como apoyo para definir las piezas constituyentes de un conjunto de elementos soldados, así como los cordones de soldadura, los tratamientos de las superficies previos a la soldadura y las operaciones de mecanizado posteriores a las soldaduras. Las listas de materiales automatizadas se encuentran disponibles para cada pieza soldada. Igualmente se cuenta con ayudas para documentar todo el proceso de fabricación de piezas soldadas, incluyendo planos de componentes y vistas pre-soldadura y post-mecanización.

### 3.2.2 Fases de desarrollo del modelo

En los apartados anteriores se ha tratado de aportar una visión general de las funciones más importantes del software de diseño utilizado para la generación del modelo. En las siguientes secciones se va a presentar de forma secuencial las operaciones llevadas a cabo



para la construcción de los diferentes elementos que forman el modelo del todoterreno.

### 3.2.2.1 Construcción del chasis

El chasis de un vehículo es el elemento sobre el que se apoyan el resto de componentes de dicho vehículo y por tanto uno de los elementos más importantes. Por tanto la construcción del modelo se inició con la creación del chasis.

El primer paso se centró en la construcción de uno de los largueros principales del chasis a partir de los datos disponibles en el plano de despiece (ver anexo 2) y las que se obtuvieron a partir de las medidas de campo. La creación del modelo se realizó utilizando bocetos para facilitar las posibles modificaciones futuras de las cotas del chasis.

La construcción del chasis se inició por la zona delantera del todoterreno y para ello se emplearon la sección inicial y final de dicho tramo; una vez se situaron ambas secciones en su lugar correspondiente se pasó a generar el larguero mediante una operación de barrido. El resultado puede verse en las figuras siguientes en las que se muestra las secciones de referencia así como el resultado final.

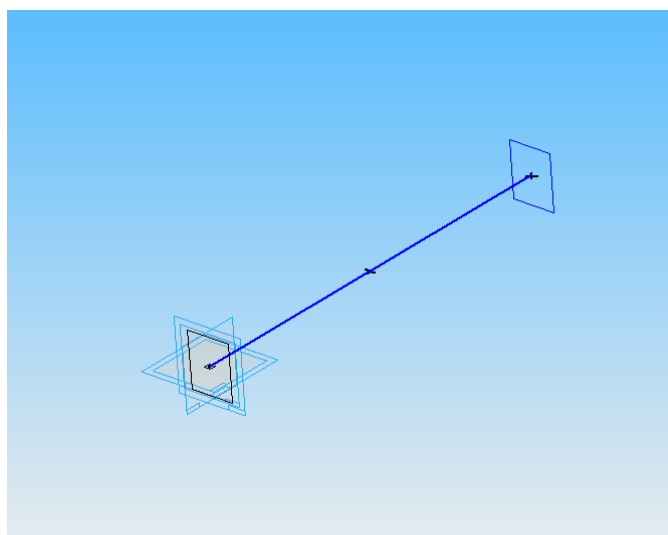
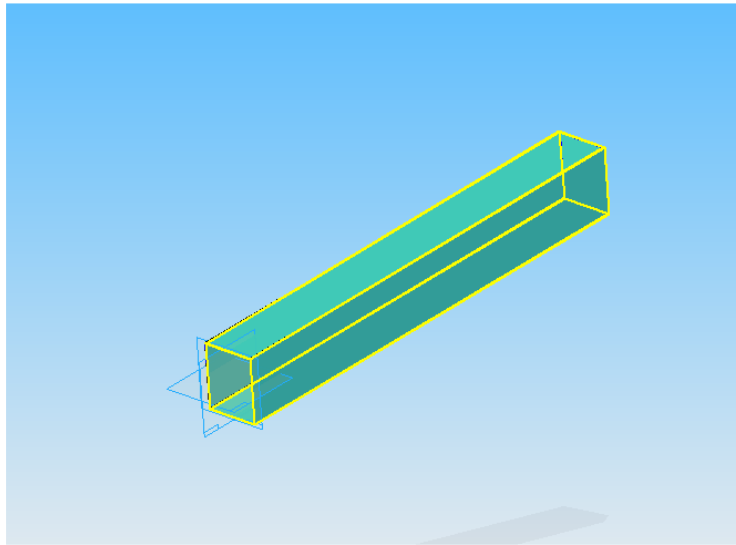
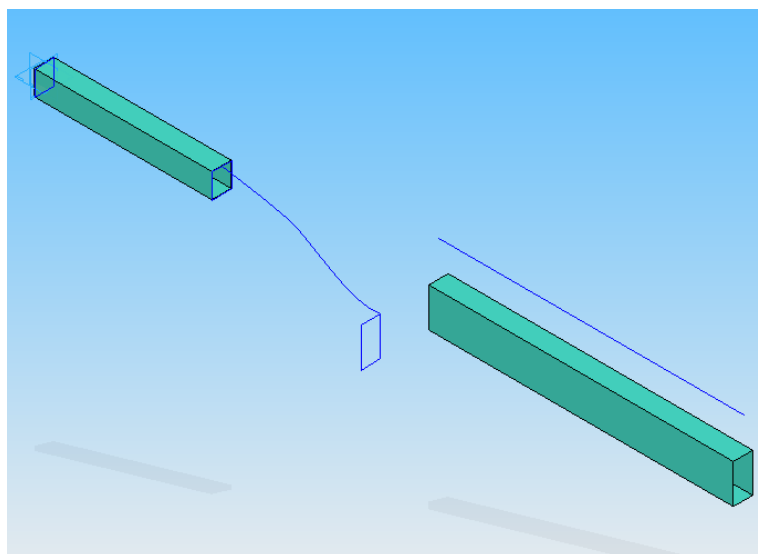


FIGURA 3.16: SECCIONES DE REFERENCIA Y DIRECTRIZ DE UNA ZONA DEL CHASIS.

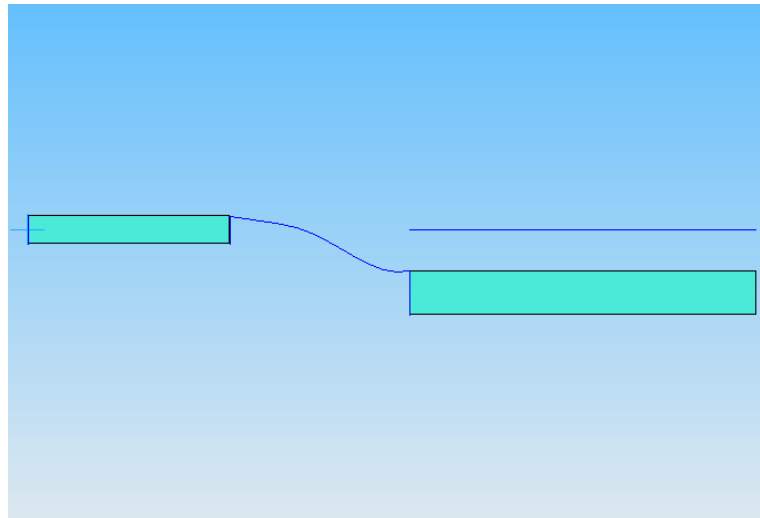


**FIGURA 3.17: TRAMO RECTO DE LARGUERO PRINCIPAL.**

De la misma forma, partiendo de las secciones inicial y final, se diseñó el tramo longitudinal central del chasis. Una vez se dispuso de los dos tramos rectos se procedió a construir la sección comprendida entre ambos largueros. El diseño de esta sección se hizo especialmente complicado debido a que se trata de un tramo curvo que une dos secciones que se encuentran situadas en dos planos distintos. Una de las principales dificultades con las que se enfrenta el usuario de Solid Edge se encuentra en la definición de planos de trabajo relativamente complicados. En las figuras siguientes se muestra el boceto empleado para la definición de la línea curva y como se necesitó trabajar en varios planos para poder crear la unión entre los dos tramos rectos.

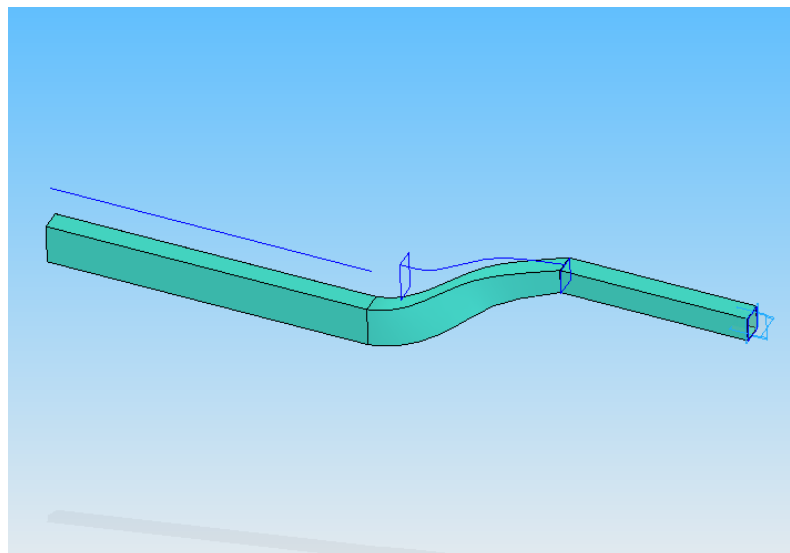


**FIGURA 3.18: BOCETO DIRECTRIZ ZONA CURVA (P. ISOMETRICA)**



**FIGURA 3.19: BOCETO DIRECTRIZ ZONA CURVA (ALZADO)**

En la figura 3.20 se muestra el resultado final.

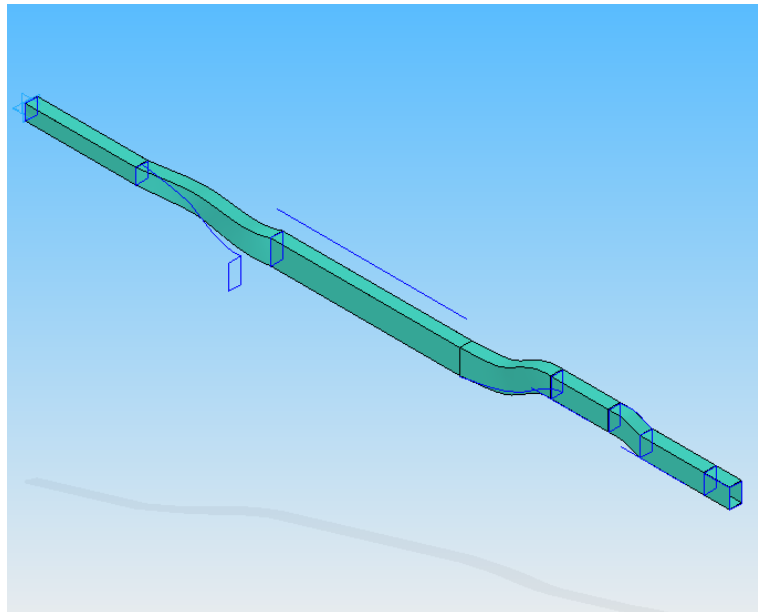


**FIGURA 3.20: LARGUERO PRINCIPAL (ALZADO)**

Una vez generada esta primera parte de uno de los largueros principales se pasó a diseñar el resto del larguero. Las características del siguiente tramo se asemejan mucho a las del tramo curvo anterior, por lo que su construcción se realizó de forma análoga, modificando las cotas de las distintas secciones. A continuación en el plano de despiece se detalla la existencia de otro tramo recto, el cuál se genera usando la función barrido; para la utilización de esta función fue necesario definir dos bocetos: uno que se usó para definir la base del larguero y otro la dirección y longitud del barrido.

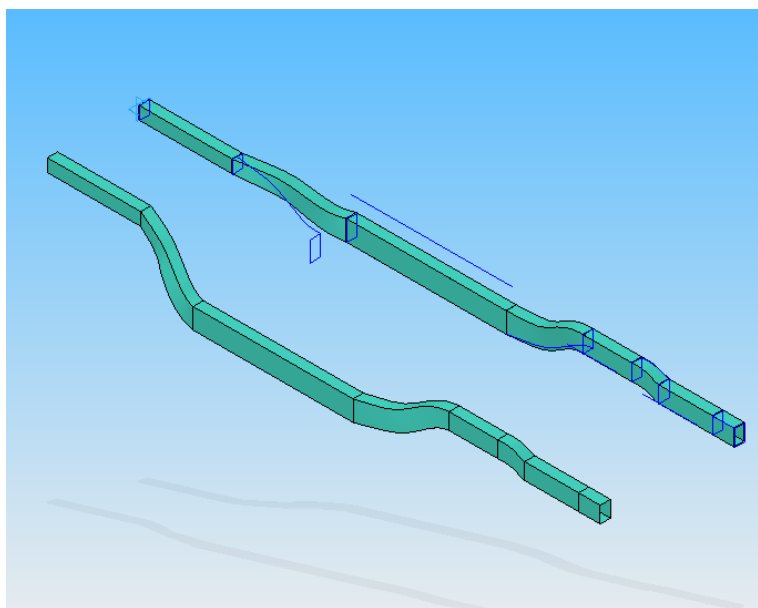
Para completar la construcción del larguero se tuvieron que generar dos nuevos tramos rectos y uno curvo, empleándose

operaciones análogas a las expuestas anteriormente. El resultado final de los procesos anteriores se muestra en la figura 3.21:



**FIGURA 3.21: LARGUERO PRINCIPAL COMPLETO  
(P. ISOMÉTRICA)**

A continuación se generó el segundo largo del chasis y para ello se empleó la función *simetría* que presenta Solid Edge. Para poder aplicarse esta función únicamente se necesita definir los elementos de los que se desea hacer la simetría y la situación en el espacio del plano de simetría. La disposición de ambos largos se puede observar en la siguiente imagen:



**FIGURA 3.22: CHASIS: LARGUROS PRINCIPALES COMPLETOS  
(P. ISOMÉTRICA)**



Estos dos largueros principales se encargan de la sustentación del resto de elementos del vehículo. La siguiente etapa se centró en la generación de los elementos de unión entre ambos largueros.

En los planos de despiece que se aportan en el anexo 2 se define la existencia de cuatro elementos transversales. El proceso de construcción se explica a continuación:

- Elemento A

Este elemento de refuerzo se encuentra situado en la parte trasera del todoterreno; la sección de dicho refuerzo es rectangular y constante; para la generación de este tramo se llevo a cabo utilizando la generación por barrido.

- Elemento B

Para la generación de este refuerzo se tuvo que simplificar la geometría. En primer lugar se crearon diversos bocetos encargados de definir mediante líneas la geometría del refuerzo. Una vez se dispuso de dicha geometría al completo se empleó la función de Solid Edge denominada *superficie limitada*, la cual genera superficies a partir de contornos cerrados.

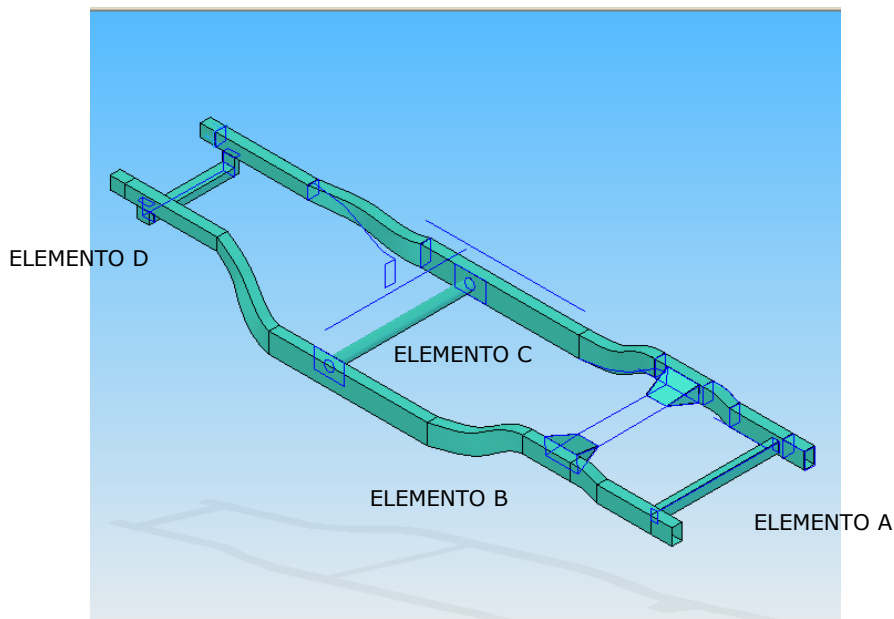
- Elemento C

Este refuerzo se encuentra en la zona central del chasis, ligeramente desplazado hacia la parte delantera del vehículo. Este componente se simplificó a una barra de sección circular y se generó empleando la operación de *generación por barrido*.

- Elemento D

Este último componente se encuentra en la zona delantera del todoterreno. El refuerzo se encuentra definido por un refuerzo de sección rectangular y dos soportes situados en la base del chasis. Para la construcción tanto del refuerzo como de los soportes se empleó la *generación por barrido*.

En la siguiente figura se muestra la posición de cada uno de los refuerzos así como su geometría.



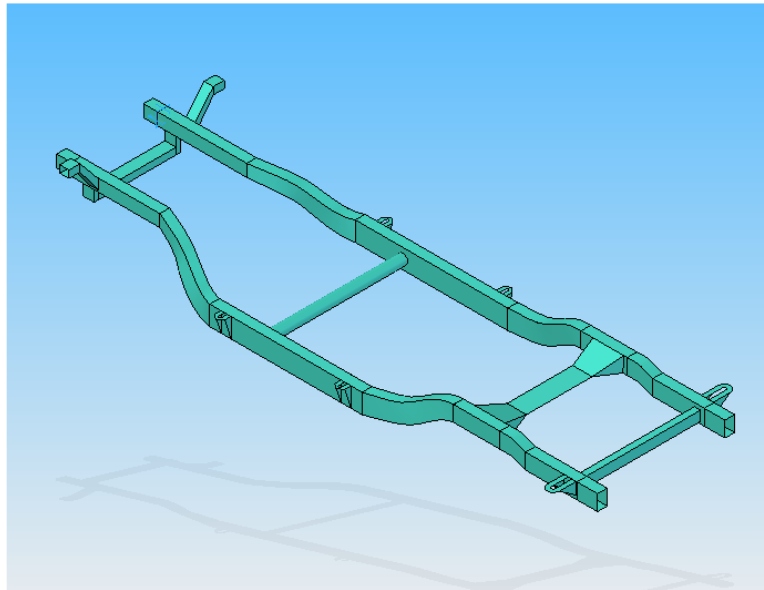
**FIGURA 3.23: CHASIS: LARGUEROS Y REFUERZOS  
(P. ISOMÉTRICA)**

Tras la finalización del diseño de los refuerzos, el último paso se centró en la construcción de las zonas destinadas a servir como punto de unión entre el chasis y la carrocería. Tal y como se puede observar en los planos de despiece el chasis presenta cuatro puntos de unión.

En el primer diseño del chasis se construyeron las cuatro piezas de anclaje, pero en diseños posteriores se eliminaron tres de ellos conservándose únicamente aquel que servía para unir la zona delantera de la carrocería. La construcción de estos elementos se llevó a cabo usando las funciones de Solid Edge *superficies por barrido*, *superficie limitada* y mediante el uso de *bocetos* para la definición de las secciones y superficies.

Tal y como se ha explicado hasta el momento, el modelo de Solid Edge se ha construido cumpliendo con las especificaciones indicadas en los planos de despiece; las únicas simplificaciones se han llevado a cabo en la generación de los elementos de refuerzo, a consecuencia de la geometría especialmente compleja de estos elementos.

El modelo final del chasis se muestra en la figura 3.24.



**FIGURA 3.24: CHASIS FINAL (P. ISOMÉTRICA)**

### **3.2.2.2 Construcción de la carrocería**

Una vez completada la generación del chasis del vehículo se prosiguió con el diseño de la carrocería. Antes de exponer el proceso de construcción se hace imprescindible justificar las importantes simplificaciones realizadas en el diseño de la carrocería.

Estas simplificaciones se deben a dos causas fundamentales:

- Geometría del modelo

La geometría de la carrocería de un vehículo comercial resulta ser muy compleja, no sólo para reconstruirse mediante Solid Edge sino también para ser importada a Ansys. Tal y como se explicará en siguientes apartados, al importar un modelo de otra aplicación a Ansys se presentan muchos problemas de compatibilidad, especialmente a la hora de importar figuras curvas.

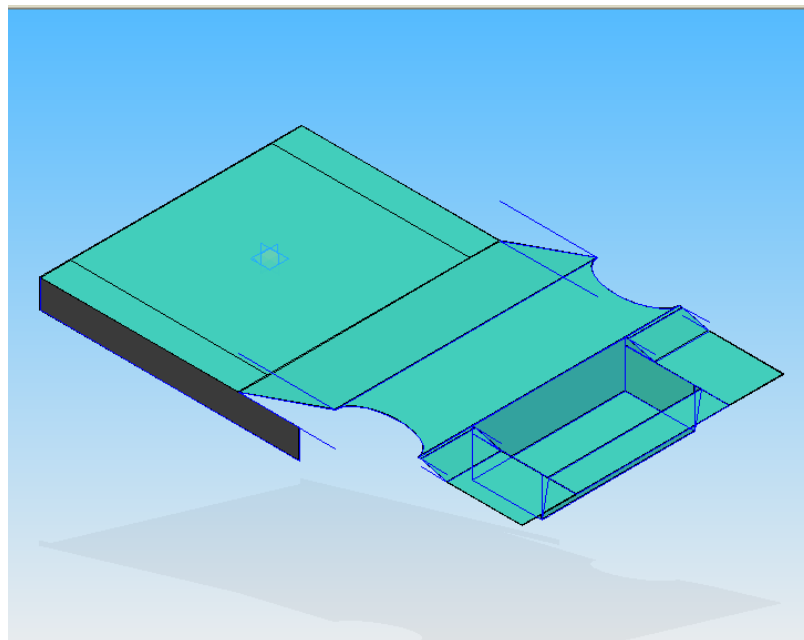
- Información disponible

La escasa información técnica (ver anexo 2) con la que se cuenta a la hora de definir el modelo se convierte en el principal problema para conseguir un modelo más acorde con la realidad. Muchos de los datos con los que se ha construido el modelo se han obtenido aplicando una escala calculada de forma aproximada a partir de los datos disponibles en los planos de despiece. Las mediciones directas

sobre varios vehículos reales se convirtieron en otra fuente imprescindibles de datos para poder finalizar el modelo.

A continuación se pasa a enumerar y exponer las diferentes etapas realizadas para la construcción de la carrocería.

El diseño de la carrocería del vehículo se inició creando el suelo del todoterreno, el cual servirá como apoyo de la carrocería en el chasis. La construcción del suelo se realizó definiendo mediante bocetos la geometría del suelo de la carrocería. Una vez se construyeron dichos bocetos se utilizó la operación *superficie limitada*. De la misma forma se construyeron los laterales de la carrocería. En la figura 3.25 se muestra el resultado después de aplicar estas operaciones.

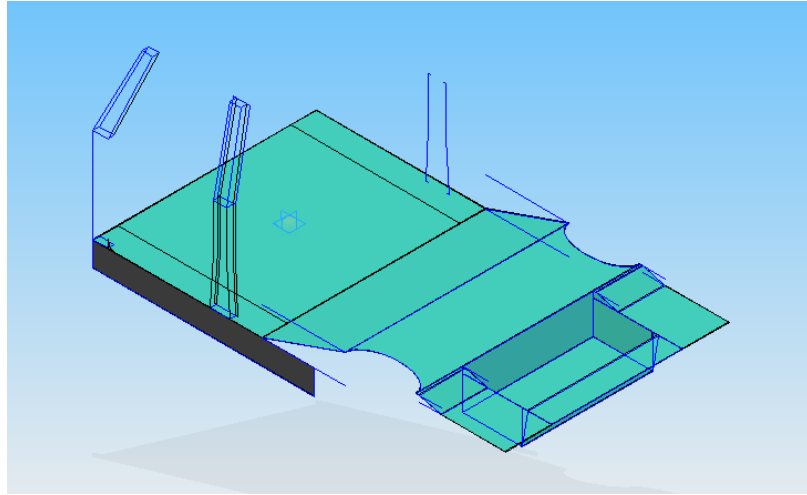


**FIGURA 3.25: SUELO DE LA CARROCERÍA (P. ISOMÉTRICA)**

La siguiente etapa se centró en el diseño de los largueros que forman el armazón de la carrocería. El diseño de los largueros centrales del vehículo se efectuó mediante la operación *superficie limitada* mientras que los delanteros se efectuaron mediante *superficies por barrido*. El empleo de una u otra técnica se fundamenta en la geometría de la sección a lo largo de la generatriz del larguero; si se cuenta con una sección constante o relativamente sencilla se utiliza *superficies por barrido*, en caso contrario (geometrías complicadas o generatrices curvas) se emplea *superficie limitada*. La creación de superficies utilizando la técnica del barrido se efectúa de forma más sencilla y rápida. Los elementos situados en los lados del vehículo se construyen utilizando simetrías, es decir, se

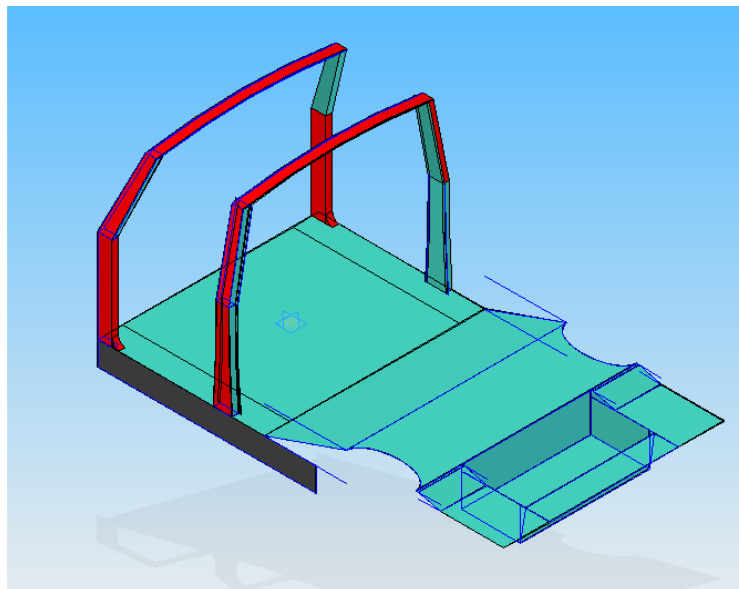


completa primero un lateral y posteriormente se aplican simetrías definiendo el correspondiente plano de simetría. Un ejemplo de estas dos operaciones puede visualizarse en la siguiente figura en la que se muestran los bocetos necesarios para la construcción de los largueros anteriormente comentados.



**FIGURA 3.26: CARROCERÍA. BOCETOS PARA DISEÑO DE LARGUEROS (P. ISOMÉTRICA)**

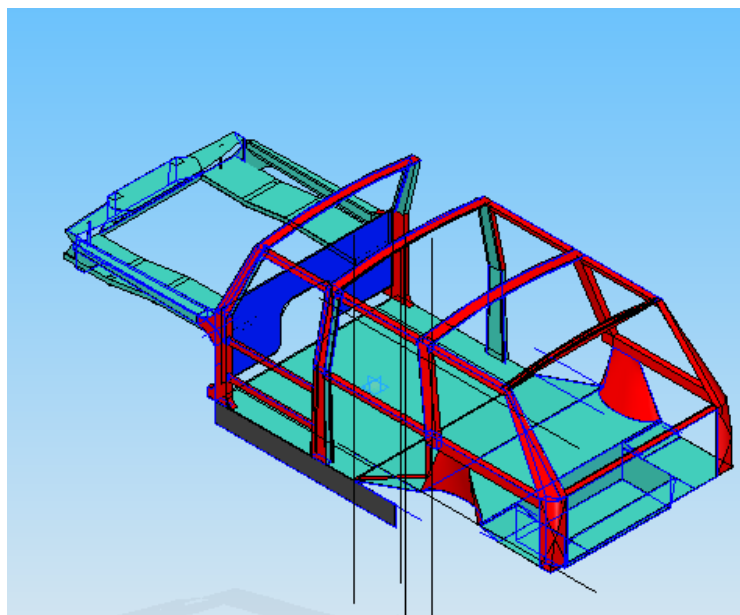
La construcción del larguero delantero y central se concluyó con el diseño de los arcos de seguridad del techo de la carrocería. En la figura 3.26 se puede ver el resultado de las operaciones llevadas a cabo hasta el momento.



**FIGURA 3.27: LARGUROS Y ARCOS DE SEGURIDAD (P. ISOMÉTRICA)**

Una vez finalizada la construcción de estos largueros se procedió a comenzar la creación del resto de largueros de la estructura de la carrocería utilizando operaciones análogas a las anteriores.

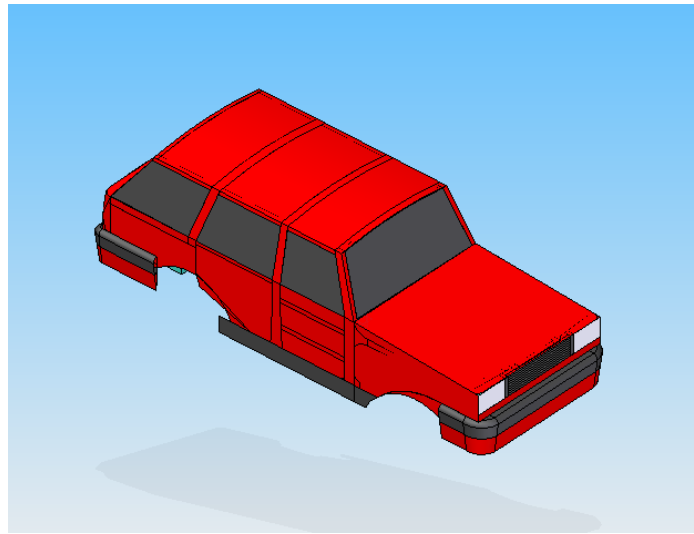
Tras completar los largueros del habitáculo se pasó a diseñar los largueros de la zona delantera del vehículo. Tal y como se ha comentado anteriormente, las simplificaciones que se han tenido que realizar en esta zona han sido especialmente importantes. Para esta construcción se han empleado las mismas operaciones que en los pasos anteriores. En la siguiente figura se muestra el estado del modelo tras la construcción de todos los largueros.



**FIGURA 3.28: ESTRUCTURA LARGUEROS COMPLETA  
(P. ISOMÉTRICA)**

Tal y como puede verse en la figura, una vez definida la estructura de largueros del vehículo, el último paso para la finalización del modelo se centra en la construcción de los elementos exteriores como: parachoques, cristales, etc. Para ello se han aplicado las mismas operaciones que para la construcción del resto de elementos de la carrocería. El aspecto final del modelo se muestra en la figura 3.29.

Uno de los elementos fundamentales que hasta el momento no se ha tenido en cuenta es el motor del vehículo. La construcción del motor así como su ensamblaje se efectuó mediante Ansys y por tanto se explicará en los apartados dedicados a dicho software de elementos finitos.



**FIGURA 3.29: MODELO CARROCERÍA COMPLETA**

Para finalizar este capítulo se incluye una foto del modelo real para de esta forma poder comparar el modelo y el todoterreno real.



**FIGURA 3.30: RANGE ROVER P 38**

### 3.2.2.3 Construcción del muro

El último elemento construido mediante Solid Edge fue el muro contra el que se va a estrellar el vehículo durante la simulación. El proceso de construcción es completamente análogo al utilizado para la construcción del chasis y la carrocería. Las dimensiones del muro se corresponden con los datos aportados en los apartados correspondientes a la EuroNCAP.

***CAPÍTULO IV:***

***SIMULACIÓN DEL ENSAYO***



### 4.1 ANSYS / LS – DYNA

Tras la construcción completa del modelo, el siguiente paso se centra en la simulación del impacto fronto-lateral. En los siguientes apartados se explicará el proceso de adaptación del modelo a Ansys y el proceso de simulación y sus condiciones. Inicialmente se hará una breve explicación del método de uso de Ansys.

#### 4.1.1 Introducción a Ansys / Ls – Dyna

El método de los elementos finitos se aplica generalmente para la resolución de múltiples problemas en ingeniería. Este método puede ser utilizado por una persona para la resolución de problemas relativamente sencillos, pero para problemas más complejos se hace necesario la utilización de programas informáticos. Ansys es uno de estos programas [33].

Ansys es un software de propósito general de modelado por elementos finitos. En sus primeros pasos se diseñó dirigido a la resolución de estructuras sólidas y análisis térmicos. En la actualidad se aplica para la resolución de todo tipo de problemas de transferencia de calor, análisis estructural estático y dinámico, mecánica de fluidos, etc. ANSYS se ha convertido, gracias a sus más de 100.000 líneas de código, en una aplicación muy potente en el mundo de la ingeniería. A pesar de ello, su código únicamente desarrolla problemas estáticos, de modo que para resolver supuestos dinámicos hay que recurrir al programa LS-DYNA, una aplicación de propósito general que simula sistemas multifísicos complejos. El tándem ANSYS/LS-DYNA es el resultado del trabajo conjunto entre las compañías Ansys Inc. Y LSTC, que han conseguido combinar el código de simulación no-lineal explícito (LS-DYNA) con un pre y post – procesador (ANSYS), dando como resultado la herramienta conjunta que se usará en este proyecto.

La rapidez y velocidad a la que ocurren algunos fenómenos como los impactos suponen un gran reto para los ingenieros que abordan su análisis. Estas simulaciones necesitan un conocimiento profundo de los fenómenos físicos que se producen durante el proceso, así como de los modelos matemáticos que se utilizan. Para abordar estos supuestos, ANSYS/LS-DYNA ofrece elementos explícitos en dos y tres dimensiones, modelos de material, muchas posibilidades de simulación y el análisis automático de contactos: superficie única, superficie-superficie y nodo-superficie. Además, los resultados de ANSYS/LS-DYNA se pueden coordinar con otros productos de ANSYS que permiten cálculos secuenciales implícitos-explícitos o viceversa,



usando el mismo modelo y conjugando a su vez, las soluciones de ambos análisis.

ANSYS/LS-DYNA se usa con frecuencia en los procesos de diseño y desarrollo de productos en la industria del automóvil. Gracias al programa, se estudia la deformación que pueden sufrir los metales de los vehículos durante un choque o accidente, mejorando, con dicha información, la seguridad de los pasajeros.

### ▪ Interface gráfico del usuario

ANSYS se puede utilizar de dos modos diferentes:

- A través de un interface gráfico basado en ventanas. En ellas, el usuario encuentra varios iconos que puede accionar a través del ratón. Esta forma de uso es relativamente intuitiva y permite a usuarios no iniciados resolver problemas sencillos.
- Gracias a un sistema de comandos que permite al usuario introducir una línea de texto que ordena la ejecución de las acciones. Esta opción se presta a usuarios más experimentados en el manejo de Ansys.

La primera vez que se inicializa la aplicación ANSYS, el usuario se encuentra con dos pantallas, mostradas en las figuras 4.1 y 4.2.

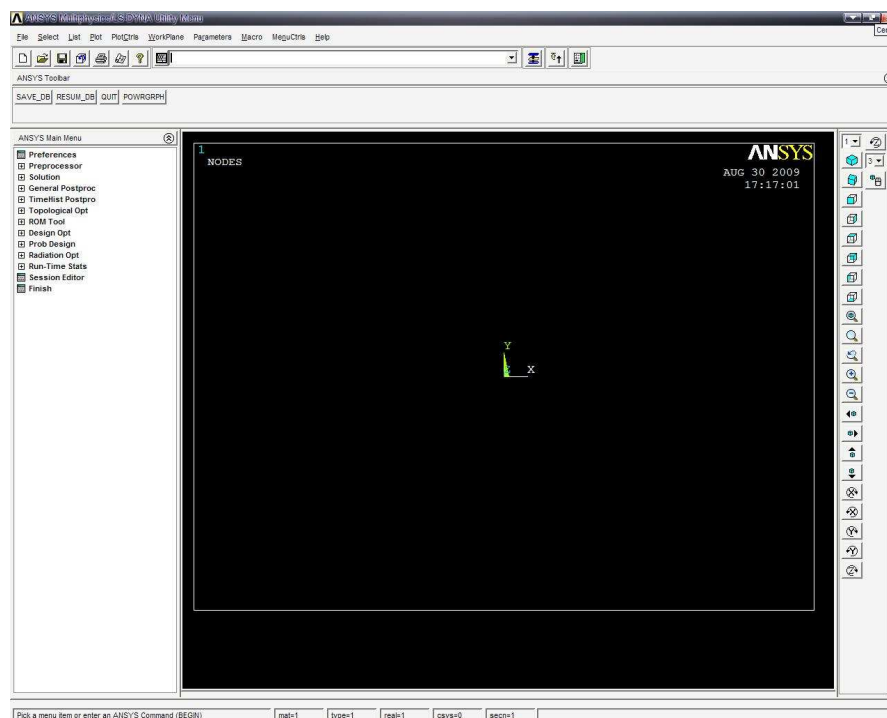


FIGURA 4.1: INTERFACE DE USUARIO DE ANSYS



Desde la ventana anterior se puede acceder a las distintas secciones de la aplicación:

- Utility menu

Este menú contiene las funciones de tipo más general que se pueden usar a lo largo de toda la sesión de ANSYS. Entre ellas se pueden destacar:

- File: se utiliza para el control de archivos
- Select: se emplea para seleccionar los componentes deseados del modelo en función de propiedades, mediante pick, etc.
- List: se encarga de generar listas de componentes, parts, elementos en función de propiedades, etc.
- Plot: a partir de este menú se puede seleccionar los tipos de elementos que se quieren visualizar por pantalla, como por ejemplo, mostrar áreas, elementos, volúmenes, nodos, etc.
- Plot Controls: desde este desplegable se controlan las opciones de visualización, opciones como numerar elementos, visualizar por colores, etc.
- Workplane: a través de este menú se puede modificar la situación del plano de trabajo, lo cual, se convierte en fundamental para la construcción de modelos.

- Main Menu

Esta sección contiene las funciones principales de Ansys, a través de las cuales se va a construir el modelo, aplicar condiciones de contorno, elegir el tipo de ensayo, etc. Este menú contiene el preproceso, solución y postproceso, entre otras. Las características y opciones de estas aplicaciones se analizarán en sucesivos apartados.

- Toolbar

Esta zona contiene botones con comando y funciones básicas del programa. Esta barra de herramientas se puede personalizar de forma que se tenga acceso directo a las funciones que desee el usuario.



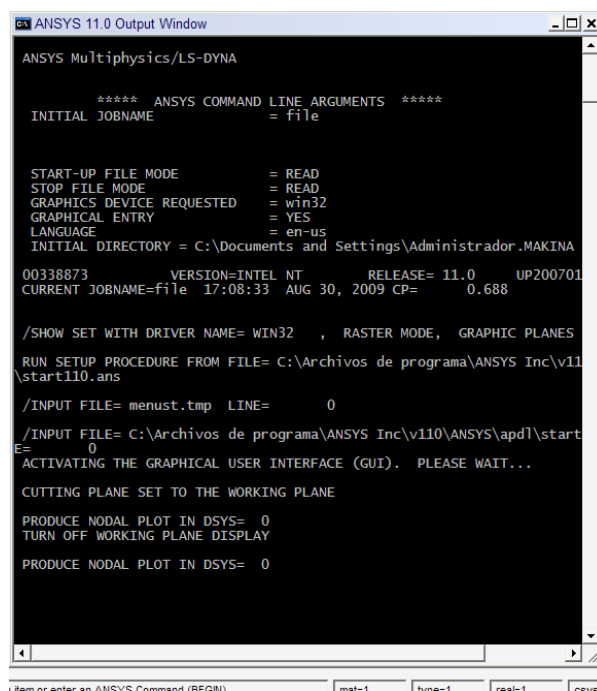
- Input Window

Se encuentra formada por una línea de escritura a través de la cual se pueden introducir los comandos. El uso de esta herramienta agiliza el proceso de construcción de los modelos pero únicamente está recomendada para usuarios expertos en ANSYS, porque se hace necesario conocer las funciones a introducir, mientras que trabajar desde el *main menu* es mucho más intuitivo.

- Graphics window

Tal y como su nombre indica se trata de la zona de la pantalla principal en la que se visualiza tanto el modelo como los resultados obtenidos tras el análisis. Dentro de esta misma sección, también se pueden localizar una serie de botones que permiten al usuario modificar las perspectivas de visualización, ángulos, zoom, etc.

La segunda ventana que aparece al inicializar la aplicación se denomina *Output Window* y en ella se muestra el texto de ejecución del programa (figura 4.2).



```
ANSYS 11.0 Output Window
ANSYS Multiphysics/LS-DYNA

***** ANSYS COMMAND LINE ARGUMENTS *****
INITIAL JOBNAME = file

START-UP FILE MODE = READ
STOP FILE MODE = READ
GRAPHICS DEVICE REQUESTED = win32
GRAPHICAL ENTRY = YES
LANGUAGE = en-us
INITIAL DIRECTORY = C:\Documents and Settings\Administrador.MAKINA

00338873 VERSION=INTEL NT RELEASE= 11.0 UP200701
CURRENT JOBNAME=file 17:08:33 AUG 30, 2009 CP= 0.688

/SHOW SET WITH DRIVER NAME= WIN32 , RASTER MODE, GRAPHIC PLANES
RUN SETUP PROCEDURE FROM FILE= C:\Archivos de programa\ANSYS Inc\v11
\start110.ans
/INPUT FILE= menust.tmp LINE= 0
/INPUT FILE= C:\Archivos de programa\ANSYS Inc\v110\ANSYS\apdl\start
E= 0
ACTIVATING THE GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI). PLEASE WAIT...
CUTTING PLANE SET TO THE WORKING PLANE

PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
TURN OFF WORKING PLANE DISPLAY
PRODUCE NODAL PLOT IN DSYS= 0
```

FIGURA 4.2: VENTANA OUTPUT DE ANSYS





### ▪ Pasos a seguir para la resolución de un problema

La resolución de un problema mediante ANSYS se organiza siempre de la misma forma, pasando secuencialmente por preproceso, procesado y postproceso

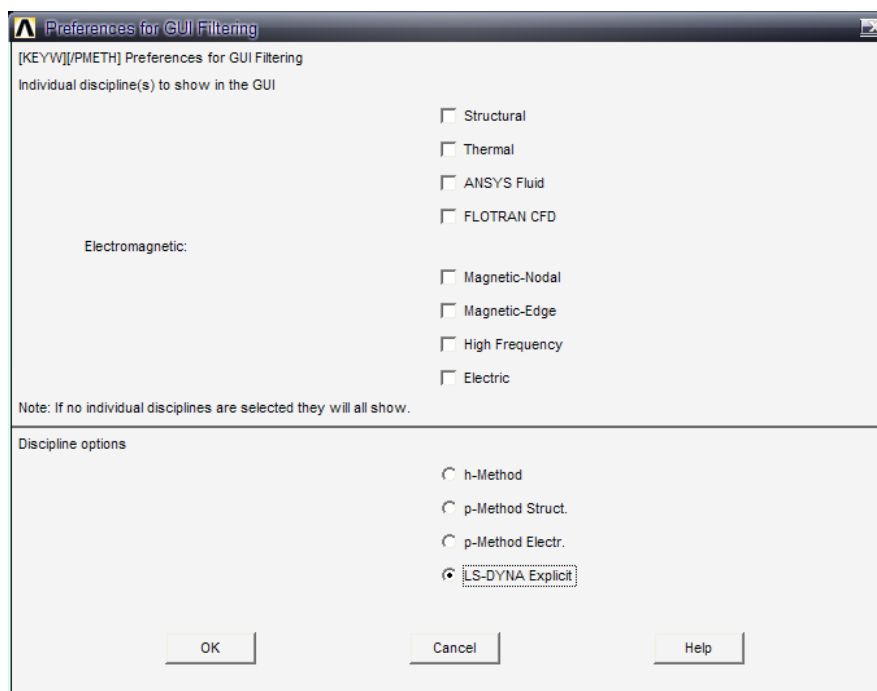
#### 4.1.2 Preproceso

Esta sección es dónde se proporcionan los datos de diseño del modelo, tales como geometría, elementos, materiales, etc. A continuación se van a exponer sus principales características.

Antes de comenzar con el modelado del problema, se debe entrar en el entorno Ls-Dyna, para lo cual se deberá seguir la siguiente secuencia de comandos:

Main Menu: *Preprocesor* → *Preferences*

Al seleccionar estos comandos aparecerá el menú mostrado en la figura 4.3. En dicho menú aparecen varias opciones, se tendrá que activar la opción LS-DYNA Explicit.



**FIGURA 4.3: CUADRO DE PREFERENCIAS ANSYS**

Una vez seleccionada la opción Ls-Dyna aparecerán en el main menú, junto con las opciones genéricas de ANSYS, las opciones propias del módulo Ls-Dyna. A partir de este momento se puede



comenzar a realizar el diseño del modelo utilizando las opciones incluidas en el preproceso de ANSYS.

Para la definición de cualquier problema siempre se deberá seguir la siguiente secuencia de operaciones:

### ▪ Definición de elementos

En la introducción a ANSYS se ha hecho especial hincapié en la importancia de una elección acertada del tipo de elemento con el que se va a construir el modelo. ANSYS dispone de más de 150 variedades de elementos para la definición de los diferentes problemas. Al seleccionar un elemento se asumen una serie de propiedades características de dicho elemento pero, además, la mayoría de los elementos en ANSYS tienen otras opciones que deben ser definidas por el usuario en función del tipo de análisis. Estas opciones son conocidas en ANSYS como *keyoptions* (KEOPTs).

Para poder seleccionar el tipo de elemento se debe seguir la siguiente secuencia de comandos en el main menú:

*Preprocesor → Element Type → Add / Edit / Delete*

Al pulsar este comando aparecerá una nueva ventana (figura 4.4) en la que se recoge la siguiente información

- Defined Element types

En esta zona se mostrarán los elementos que hayan sido elegidos anteriormente.

- Botones de acción
  - *Add*: al pulsar este botón se visualizará el listado de elementos disponibles (figura 4.5). En primer lugar se deberá elegir el tipo de elemento deseado.
  - *Options*: mediante esta pestaña se pueden seleccionar características adicionales al elemento. Esta opción no se encuentra disponible para todos los elementos.
  - *Delete*: comando empleado para borrar un elemento seleccionado anteriormente.

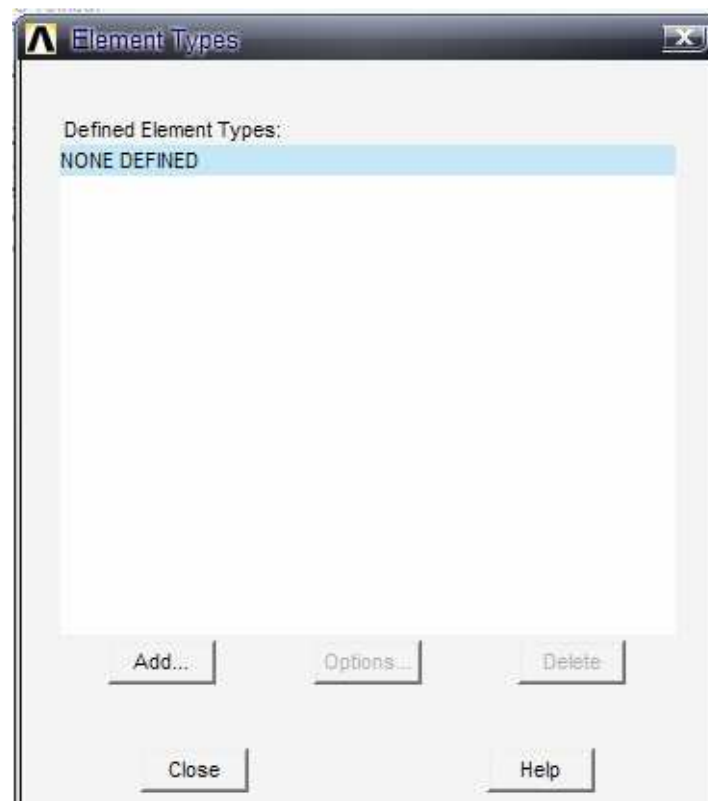


FIGURA 4.4: CUADRO DE DIÁLOGO PARA ELEMENTOS SELECCIONADOS

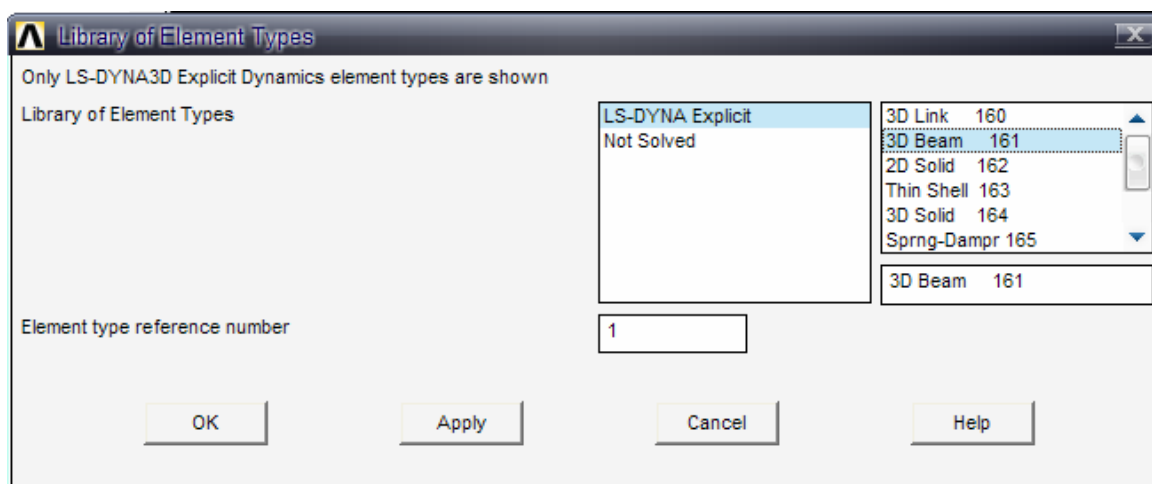


FIGURA 4.5: CUADRO DE DIÁLOGO PARA TIPOS DE ELEMENTOS

#### ▪ Definición de las constantes reales de los elementos

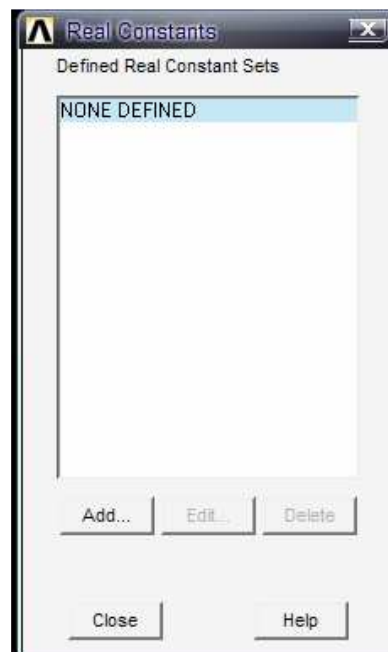
En este paso se procede a definir las propiedades específicas de cada uno de los elementos, como puede ser el espesor, los momentos de inercia, el tipo de sección, etc. En función del tipo de elemento se necesitará facilitar unas constantes reales u otras, aunque hay

algunos elementos que no necesitan constantes reales, como por ejemplo el tipo *Solid 164*.

Para definir las constantes reales se deben seleccionar los siguientes comandos situados en el *main menu*:

*Preprocesor* → *Real Constant*

Tras esta elección se abrirá el cuadro de diálogo mostrado en la siguiente figura:



**FIGURA 4.6: CUADRO DE DIÁLOGO PARA LAS CONSTANTES REALES DE CADA ELEMENTO**

- *Defined Real Constant Sets*: aquí se mostrará la lista de constantes reales que ya han sido definidas.
- *Add*: mediante este comando se añadirá el elemento del que se quieren definir las constantes reales. Primero se elegirá uno de los elementos definidos anteriormente y posteriormente aparecerá el cuadro de diálogo mostrado en la figura 4.7, en el cuál se definirán las constantes reales propias del elemento seleccionado.
- *Delete*: se emplea para eliminar las constantes reales ya definidas.
- *Edit*: se utiliza para modificar las constantes reales ya definidas

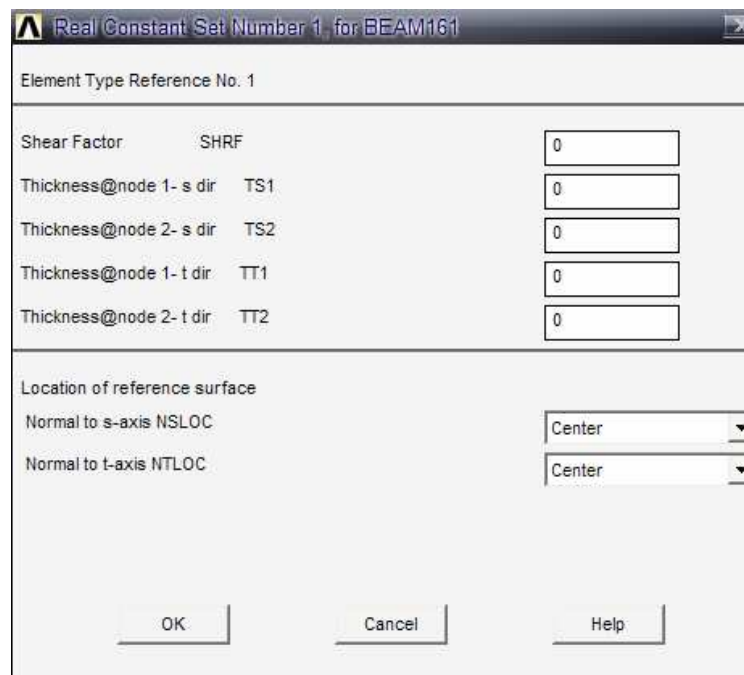


FIGURA 4.7: CUADRO DE DIÁLOGO PARA LAS CONSTANTES REALES DEL ELEMENTO BEAM 161

#### ▪ Definición de materiales y propiedades

Una vez definidos los elementos y sus constantes reales el siguiente paso consiste en la elección de los materiales y la definición de las propiedades físicas de los mismos. En función del material que se seleccione se tendrán que definir unas propiedades u otras. La fijación del material y sus propiedades se efectúa seleccionando los siguientes comandos del main menú:

*Preproceso → Material Props → Material Models*

El cuadro de diálogo que se muestra en la figura 4.8 es el que aparece al realizar la secuencia de comandos anterior.

- *Material Model Number:* en esta sección se mostrarán los materiales anteriormente seleccionados. Para añadir un nuevo material se ejecutará el siguiente comando *Material → New Model*.
- *Material Models Available:* en esta otra zona se encuentran los modelos de materiales disponibles. Al seleccionar uno de ellos se abrirá el cuadro de diálogo mostrado en la figura 4.9 en el que se fijarán las propiedades del material

seleccionado. En función del tipo de material será necesario definir distintas propiedades.

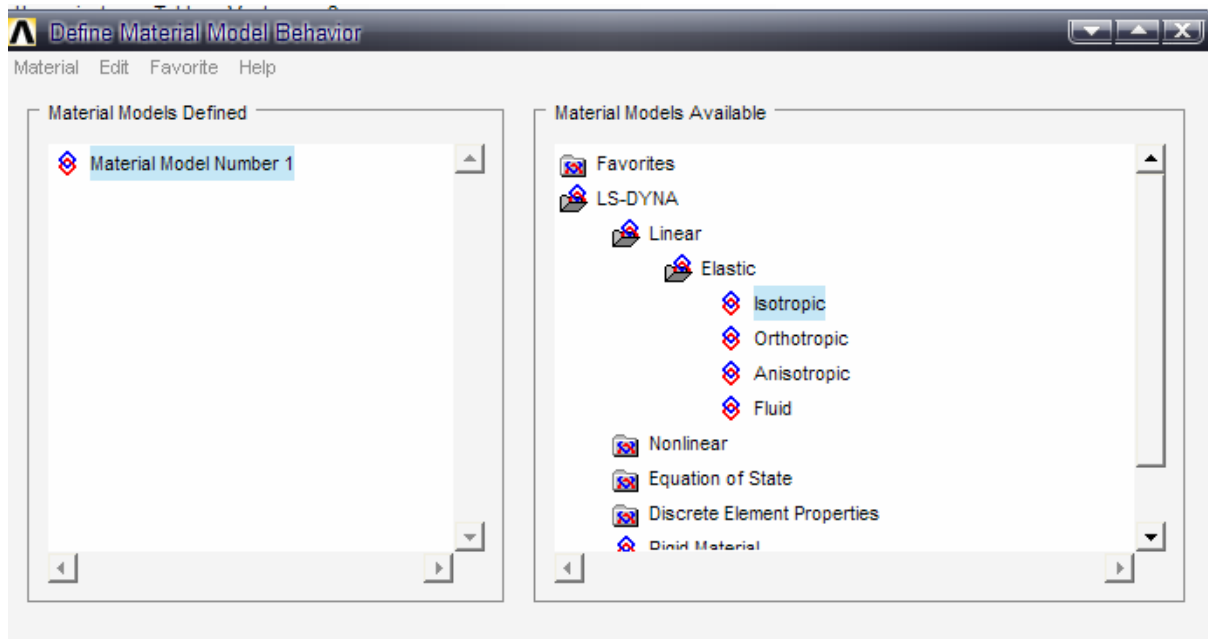


FIGURA 4.8: CUADRO DE DIÁLOGO PARA MATERIALES

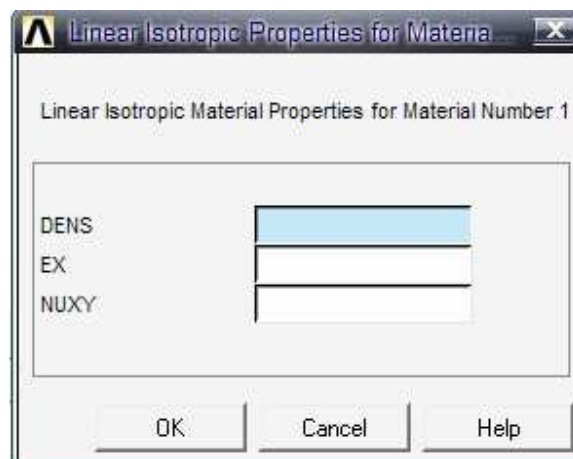


FIGURA 4.9: CUADRO DE DIÁLOGO PARA PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

#### ▪ Creación de la geometría del modelo

Para geometrías muy simples (elementos lineales como barras), un método para la creación del modelo es definir directamente los nodos de dicho modelo, y manualmente definir los nodos que forman cada elemento.

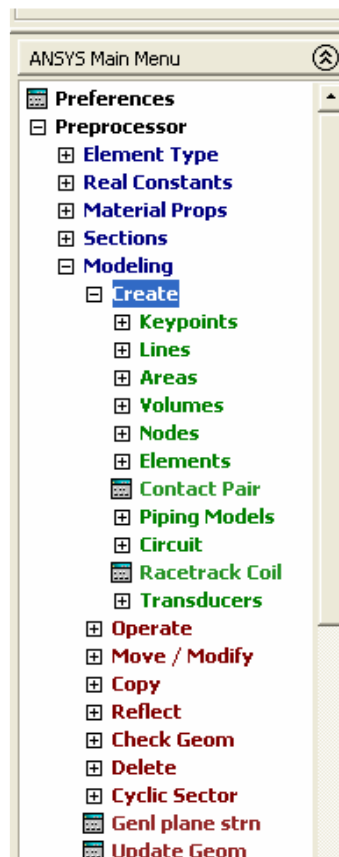


En el momento en el que la geometría se complica, es necesaria la creación de elementos geométricos simples (método de modelado de sólidos) como líneas, rectángulos, círculos, etc. Para combinar los distintos elementos creados se aplican *operaciones booleanas* (adición, sustracción e intersección). Una vez creado el modelo, se definirá la forma y tamaño de malla y ANSYS generará automáticamente los nodos.

La creación se lleva a cabo siguiendo la siguiente secuencia de comandos en el *main menu*:

*Preprocesor* → *Modeling* → *Create*

Al aplicar estos comandos se desplegará un submenú (figura 4.10) dentro de *create* en el cuál se encuentran los diferentes elementos que se pueden crear. De esta forma se pueden definir puntos, líneas, áreas. También existe la posibilidad de definir directamente nodos y elementos.



**FIGURA 4.10 MENU PARA LA CREACIÓN DEL MODELO**

A la hora de definir los diferentes elementos de un modelo es fundamental tener en cuenta la jerarquía de los diferentes elementos;



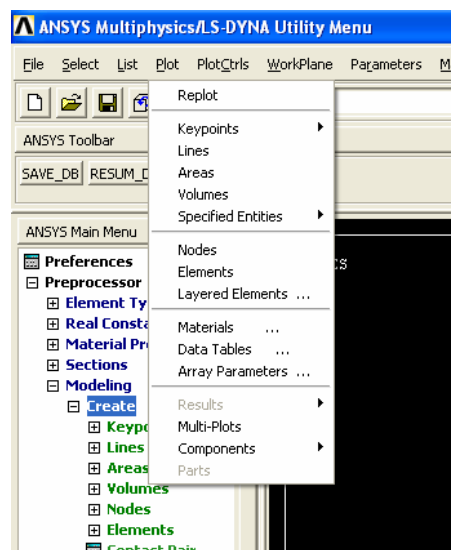
los volúmenes se encuentran formados por áreas, las áreas por líneas y las líneas por puntos (*keypoints*). Estos conceptos son fundamentales a la hora de llevar a cabo operaciones de edición y borrado de elementos. De esta forma para borrar geometrías se dispone de dos opciones:

1. *Preprocesor → Delete → ".....only"*: con este comando se borra únicamente la geometría elegida, es decir, si se selecciona borrar línea, únicamente se borra la línea pero no los *keypoints* que la forman.
2. *Preprocesor → Delete → "..... and below"*: se eliminarán tanto el elemento seleccionado como aquellos que lo forman. De esta forma si se selecciona eliminar una línea se borrará tanto la línea como los puntos que la forman.

Para la creación de un modelo no sólo se hace necesario conocer los comandos de creación de los distintos elementos, sino que es fundamental conocer otras características de ANSYS.

- ANSYS únicamente permite la visualización de un tipo de elementos. De esta forma si se selecciona visualizar áreas no se mostrará el resto de elementos como líneas o puntos. La opción de visualización se configura de la siguiente secuencia de comandos:

*Utility Menu → Plot → Keypoints (lines, areas, etc)*



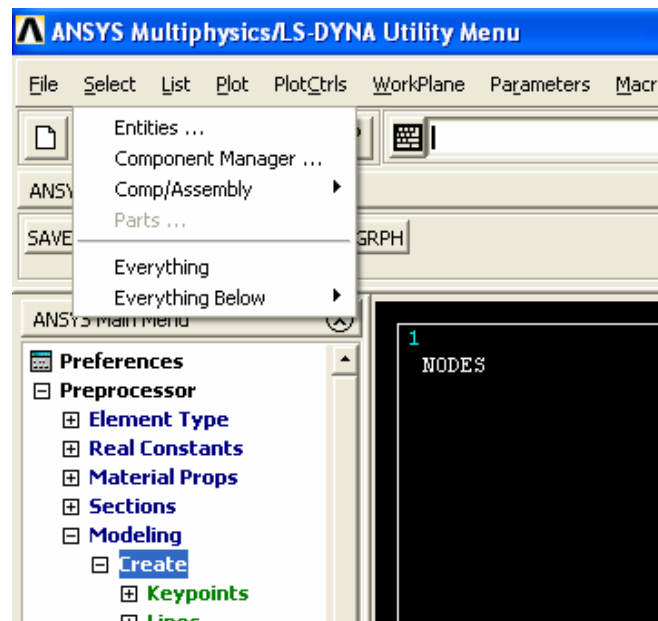
**FIGURA 4.11 MENÚ PARA LA VISUALIZACIÓN DEL MODELO**



- ANSYS dispone de una herramienta que permite al usuario la selección de zonas determinadas del modelo. Esta función se abre al seleccionar la siguiente secuencia de instrucciones:

*Utility Menu → Select → Entities*

Al seleccionar este comando se abre el cuadro de diálogo mostrado en la figura 4.12.



**FIGURA 4.12: MENÚ PARA SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA GEOMETRÍA**

En este cuadro de diálogo, en primer lugar, se elige el tipo de elemento que se quiere visualizar (nodo, área, volumen...). A continuación se define la restricción que se le quiere aplicar para diferenciar los elementos (tipo de material, número de constante real...). Por último se pueden utilizar otras opciones como definir si se quiere mostrar únicamente los elementos seleccionados, si se quieren ocultar, etc.

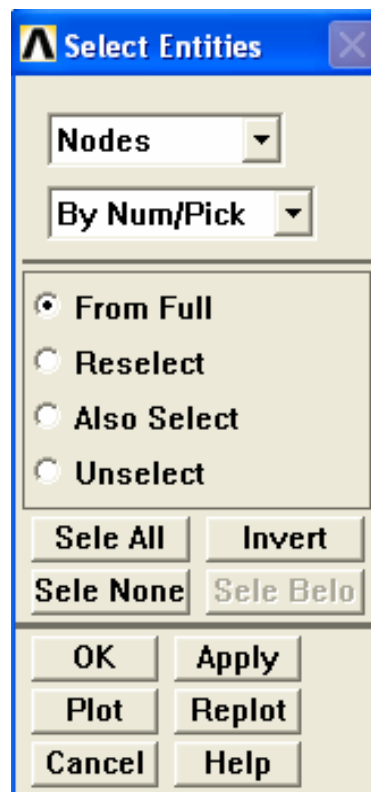


FIGURA 4.13: MENÚ PARA LA SELECCIÓN DE OBJETOS

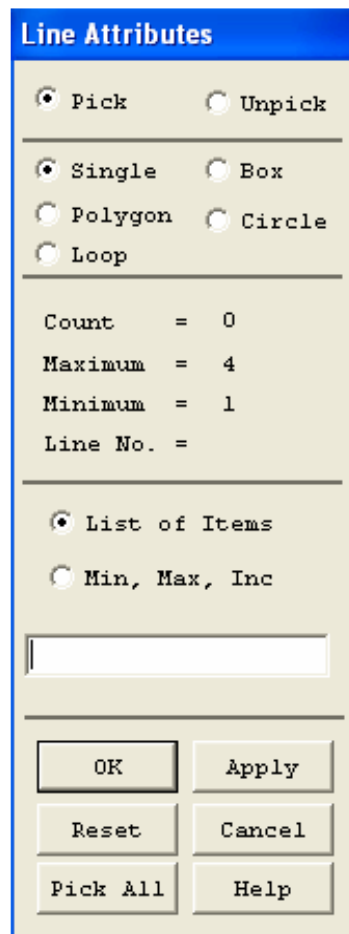
#### ▪ Definición y mallado del modelo

Tras la generación del modelo el siguiente paso consiste en dividir la geometría en nodos y elementos. Este proceso se denomina mallado (*meshing*).

En primer lugar se tienen que definir las propiedades de los diferentes elementos que se desean mallar. Dentro de estas características se encuentran el tipo de elemento, la constante real y las propiedades del material. Esto se efectúa siguiendo la siguiente secuencia de comandos:

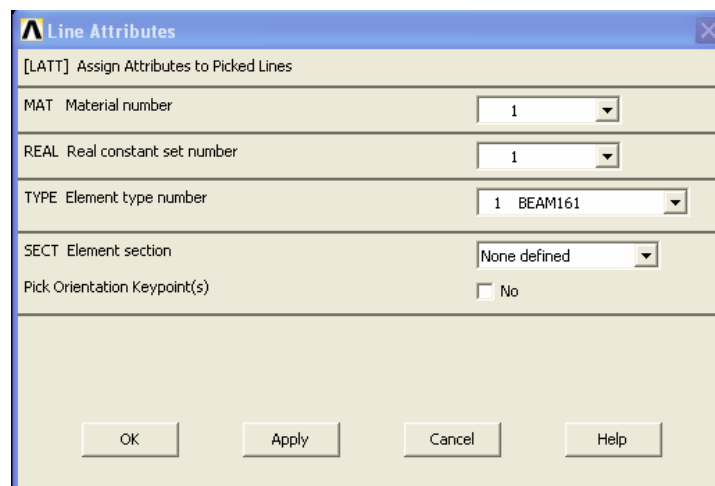
*Preprocesor → Meshing → Mesh Attributes → Picked KPs (lines, areas...)*

Tras seguir esta secuencia aparecerá un cuadro de diálogo (figura 4.14), mediante el cuál se seleccionarán los elementos de los que se desea fijar sus características. Una vez seleccionados se pulsa *ok* y se abrirá un nuevo cuadro de diálogo en el que se podrán definir las características anteriormente mencionadas de los elementos seleccionados.



The 'Line Attributes' dialog box has a blue title bar. It contains several sections of controls. The first section has two radio buttons: 'Pick' (selected) and 'Unpick'. The second section has five radio buttons: 'Single' (selected), 'Box', 'Polygon', 'Circle', and 'Loop'. The third section displays four values: 'Count = 0', 'Maximum = 4', 'Minimum = 1', and 'Line No. ='. The fourth section has two radio buttons: 'List of Items' (selected) and 'Min, Max, Inc'. Below these is an empty text input field. The bottom section contains six buttons arranged in a 3x2 grid: 'OK', 'Apply', 'Reset', 'Cancel', 'Pick All', and 'Help'.

**FIGURA 4.14: MENU PARA LA SELECCIÓN DE ELEMENTOS**



This version of the 'Line Attributes' dialog box has a title bar with a small icon and a close button. The main area is titled '[LATT] Assign Attributes to Picked Lines'. It contains five rows of controls, each with a label and a dropdown menu: 'MAT Material number' with value '1', 'REAL Real constant set number' with value '1', 'TYPE Element type number' with value '1 BEAM161', 'SECT Element section' with value 'None defined', and 'Pick Orientation Keypoint(s)' with a checkbox labeled 'No' that is unchecked. At the bottom, there are four buttons: 'OK', 'Apply', 'Cancel', and 'Help'.

**FIGURA 4.15: CUADRO DE DIÁLOGO DE LAS PROPIEDADES DE MALLADO**

A continuación se deberá fijar el tamaño de mallado. Para ello se deben pulsar los siguientes comandos:

*Preprocesor → Meshing → Size Cntrls → Manual Size → Global Size (areas, lines...)*

Tras aplicar este código se visualizará otra ventana (figura 4.16) en el que se podrá definir el tamaño de malla o el número de divisiones del elemento. La selección de cualquiera de las opciones se hará en función de aquella que se adapte mejor a las necesidades del usuario.

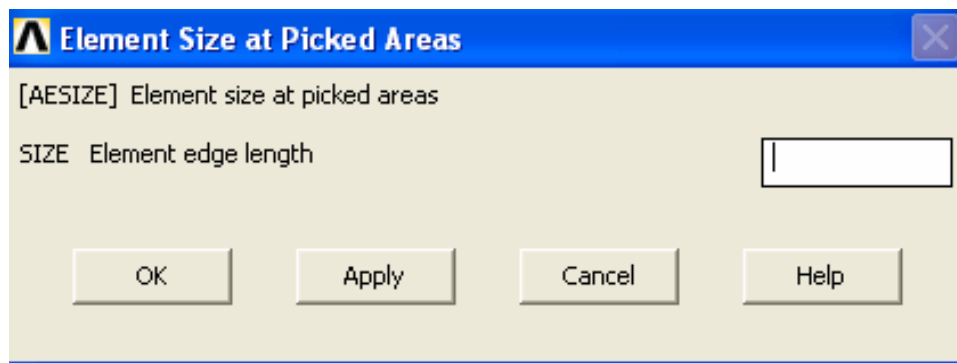


FIGURA 4.16: VENTANA PARA SELECCIONAR EL TAMAÑO DE MALLADO

Una vez definidas las propiedades de los elementos a mallar el siguiente paso consiste en el proceso de mallado propiamente dicho. Para iniciar el mallado se deberá aplicar el siguiente código en el *main menu*:

*Preprocesor → Meshing → Mesh → KPs (lines, areas...)*

Al ejecutar este comando aparecerá un cuadro de diálogo, similar al comentado anteriormente (figura 4.14), que permitirá la selección de los elementos que se desean mallar. Una vez seleccionados todos los elementos que se desea mallar, para comenzar se pulsará el botón *ok* o *apply*.

### 4.1.3 Solución

Una vez finalizada la construcción del modelo, el siguiente paso consiste en fijar las condiciones de ensayo (condiciones de contorno, cargas, velocidades, etc). Todas estas operaciones se pueden efectuar desde el menú *solution*, situado en el *main menu* (figura 4.17)

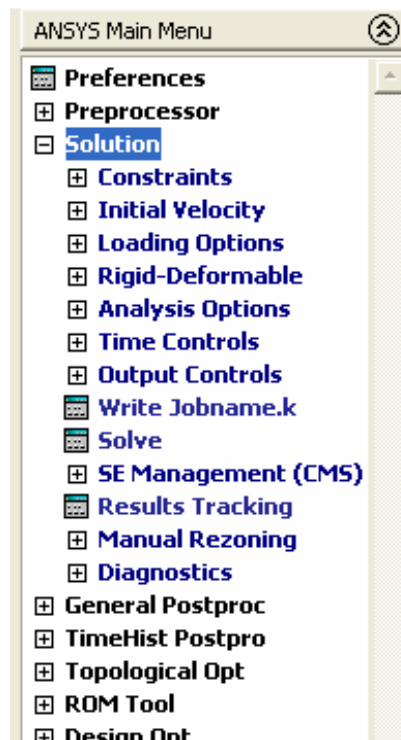


FIGURA 4.17: CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA RESOLUCIÓN DEL ENSAYO

A continuación se van a exponer las distintas condiciones que se pueden definir para la simulación:

#### ▪ Restricción de movimiento (Constrains)

En muchos de los problemas a resolver, una condición de contorno típica es la fijación del desplazamiento (o giro) en alguna de las direcciones del espacio. Esta restricción no fija necesariamente un desplazamiento como nulo, sino que también se puede definir un desplazamiento máximo de alguno de los componentes. La aplicación de esta restricción se hará mediante la siguiente secuencia de comandos en el *main menu*:

*Solution → Constrains → Apply → On lines (areas, nodes...)*

Tras aplicar este código aparecerá un cuadro de diálogo para la elección de los elementos (áreas, nodos, líneas...) sobre los que se quiere aplicar la restricción. Una vez se hayan seleccionado y confirmado pulsando *ok*, aparecerá un nuevo cuadro de diálogo (figura 4.18) mediante el cual se fijarán los desplazamientos o rotaciones cuyo valor se quiere delimitar ( $U_z$ ,  $U_k$ ,  $U_z$ ,  $W_x$ ,  $W_y$ ,  $W_z$  o *All DOF*).

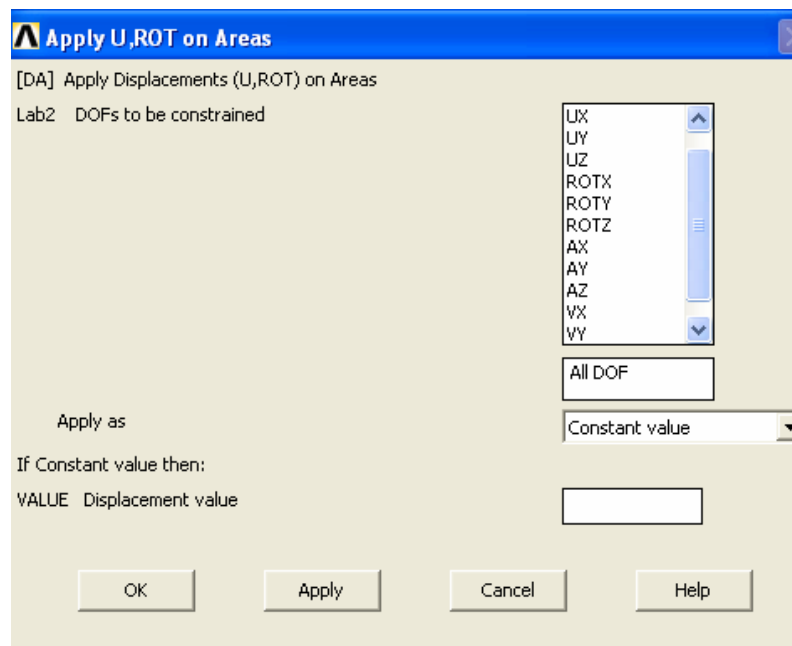


FIGURA 4.18: CUADRO DE DIÁLOGO RESTRICCIÓN DE MOVIMIENTOS

- **Fijación de la velocidad inicial**

Otra condición que se suele aplicar al modelo es la velocidad inicial del mismo o de alguno de sus componentes. Esta velocidad inicial se podrá definir como lineal o angular y se podrá aplicar sobre puntos, líneas, áreas y volúmenes. La secuencia a seguir se muestra a continuación:

*Main menu: Solution → Inicial Velocity → On Nodes*

El menú que se muestra a continuación se utiliza para la fijación de las velocidades iniciales. En la zona definida como *generate velocity on component* se tendrá que seleccionar el componente sobre el que se va a definir la velocidad. En los recuadros situados inmediatamente debajo se definirá el valor de las velocidades que se deseen fijar.

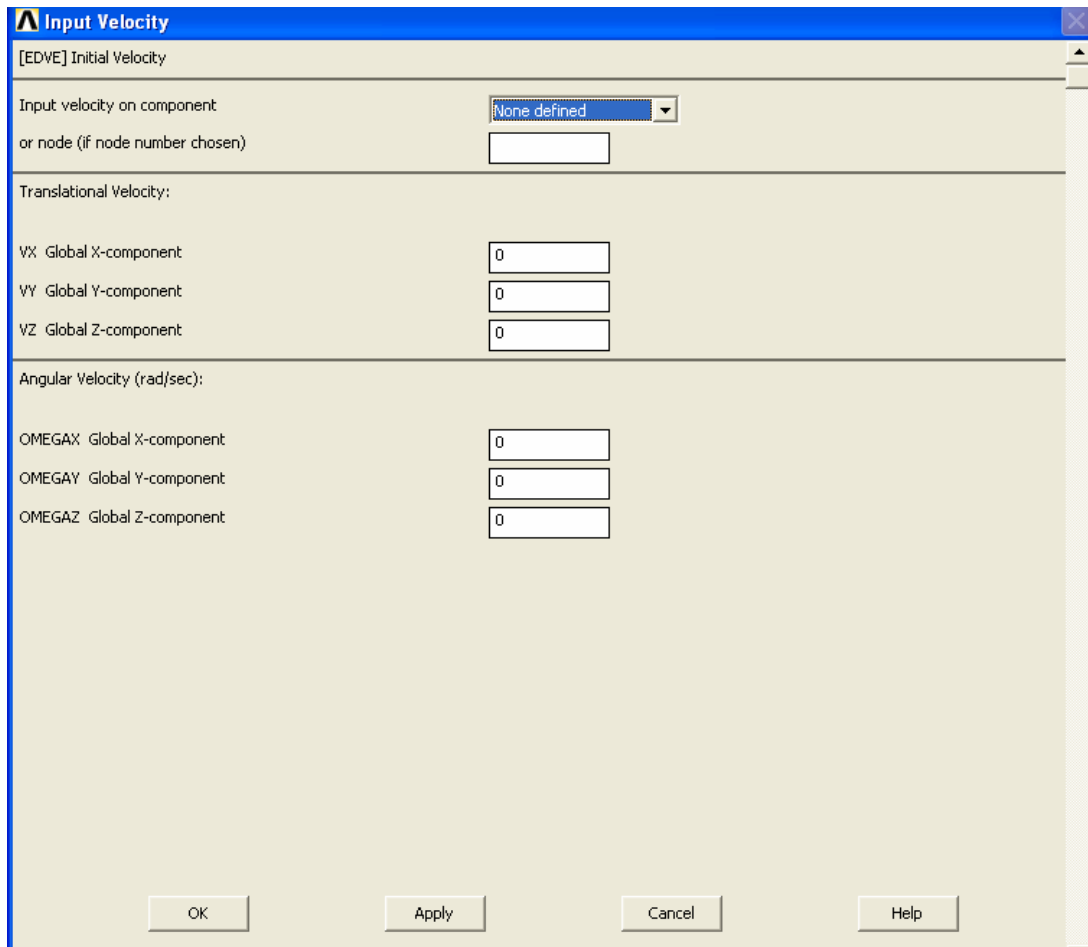


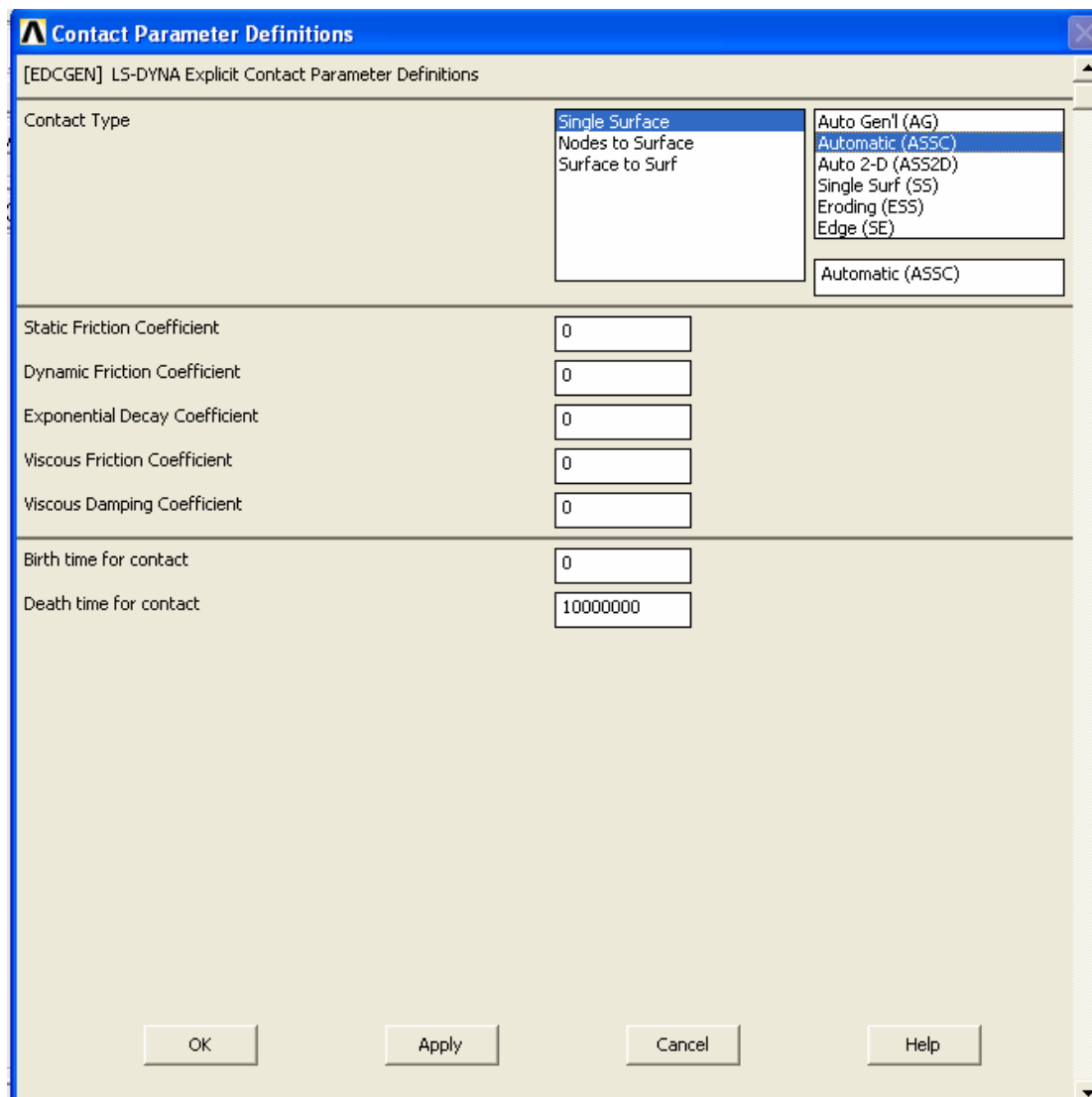
FIGURA 4.19: CUADRO DE DIÁLOGO DE VELOCIDADES INICIALES

#### ▪ Contacto entre componentes

En los modelos en los que existan varias partes entre las cuales exista algún tipo de contacto, se tendrá que aplicar unas condiciones de contacto para definir la interacción entre ellas. Los contactos se definirán mediante la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu: Preprocesor → LS - Dyna Options → Contact → Define Contact*

Tras aplicar estos comandos aparece el cuadro de diálogo mostrado en la figura 4.20. En esta ventana se puede elegir distintos tipos de contacto, los cuales se elegirán en función del tipo de problema del que se disponga.



**FIGURA 4.20: CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE CONTACTO**

### ▪ Cargas (*Loads*)

Otra condición fundamental para la definición de múltiples problemas en ingeniería consiste en la aplicación cargas al modelo. Las cargas se fijan aplicando la siguiente secuencia de comandos:

*Utility menu: Parameters → Array Parameters → Define/Edit*

En el menú (figura 4.21) se mostrarán las cargas aplicadas y al seleccionar el botón *Add* se podrán añadir nuevas cargas gracias a la ventana que se muestra en la figura 4.22. Un dato fundamental a la hora de definir las cargas es tener en cuenta que ANSYS aplica las cargas durante un determinado tiempo, por este motivo habrá que



construir un vector con el tiempo durante el cuál se quiera que actúen las cargas.

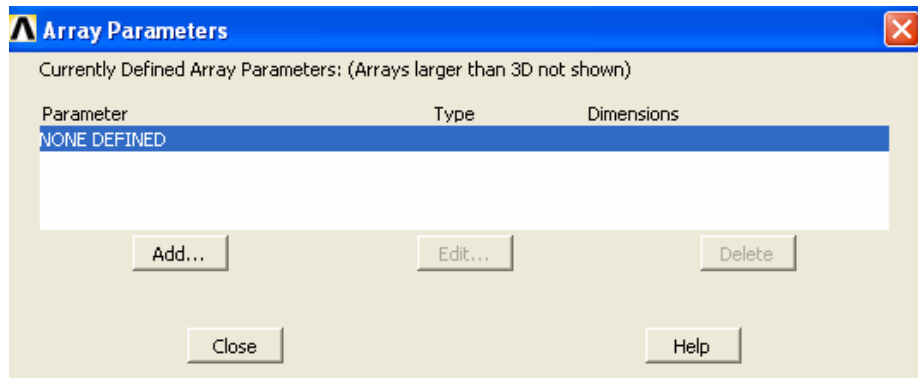


FIGURA 4.21: CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

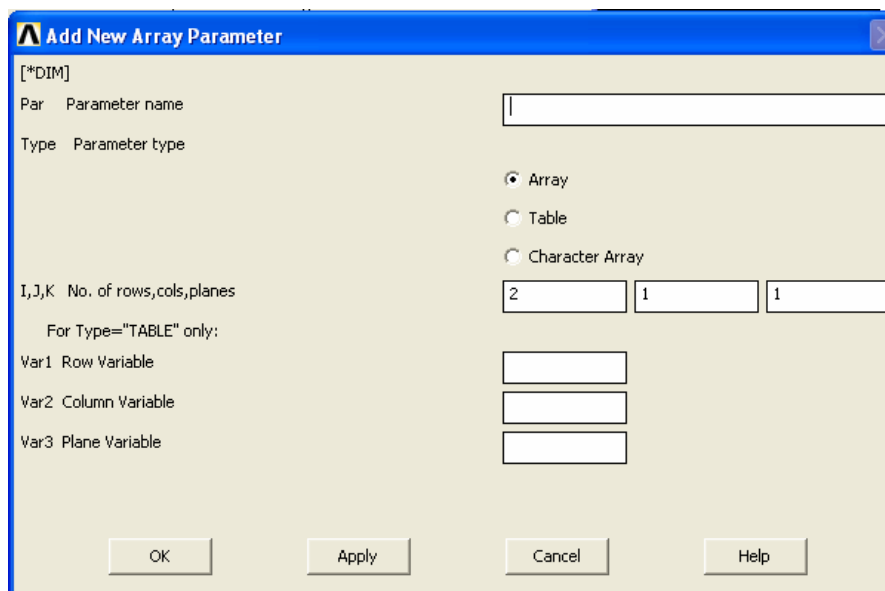


FIGURA 4.22: CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE UN VECTOR DE PARÁMETROS

Una vez definidos los parámetros de las cargas, se seguirá los siguientes comandos para su aplicación:

*Main Menu: Solution → Loading Options → Specify Loads*

Tras la ejecución de estos comandos aparecerá un nuevo cuadro de diálogo (figura 4.23) en el que se definirá el tipo de carga (*Load Labels*), el componente sobre el que se quiere aplicar (*component name or part number*) y posteriormente los parámetros de tiempo (*Parameter name for time values*) y carga (*Parameter name for data values*).

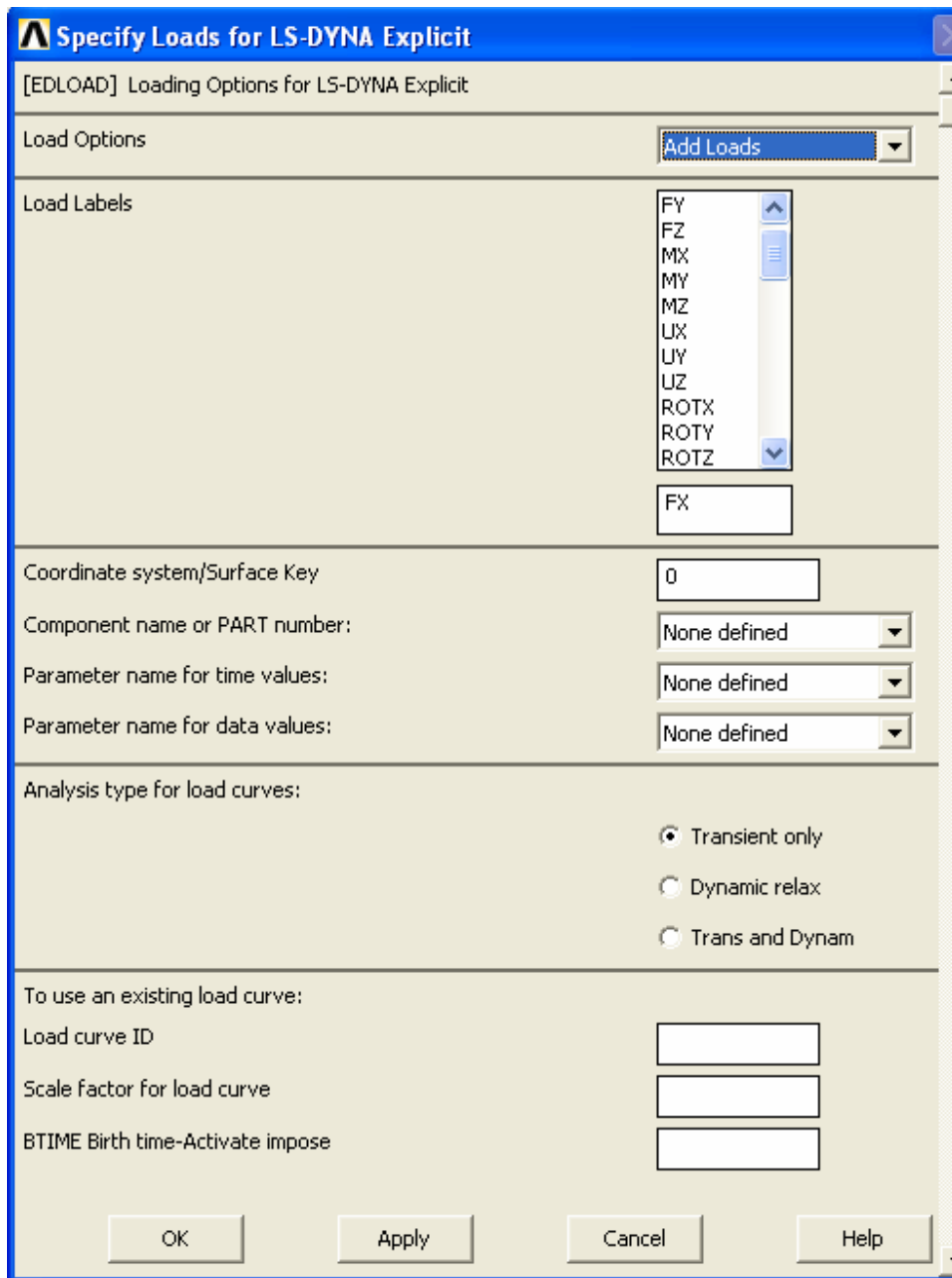


FIGURA 4.23: CUADRO DE DIÁLOGO DE DEFINICIÓN DE CARGAS

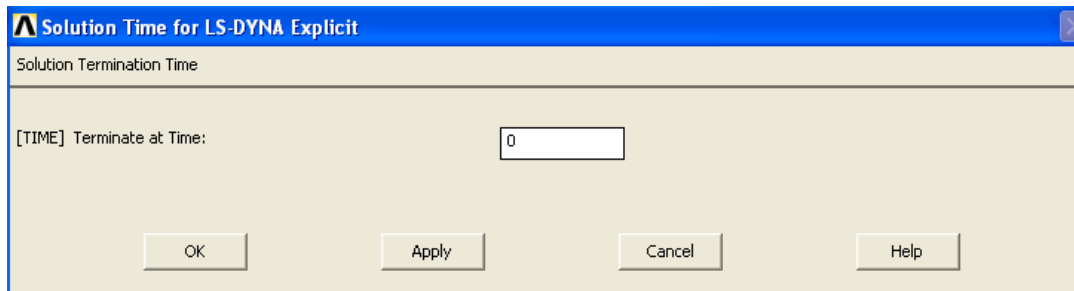
- **Definición del tiempo de simulación**

El último paso antes de comenzar la simulación consiste en la fijación del tiempo de simulación. Este parámetro se fija siguiendo la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu: Solution → Time Controls → Solution time*



Una vez efectuada esta operación se podrá visualizar la ventana mostrada en la figura 4.24 en la cual se fijará el tiempo de simulación



**FIGURA 4.24: CUADRO DE DIÁLOGO PARA DEFINICIÓN DEL TIEMPO DE SIMULACIÓN**

### ▪ Resolución del problema

En este momento ya se cuenta con todas las condiciones de contorno necesarias para proceder a simular el problema. La simulación se efectuará mediante el siguiente comando:

*Main menu: Solution → Solve*

Una vez ejecutado el comando, ANSYS comenzará el cálculo del problema y obtendrá un resultado para el análisis. El tiempo de resolución del proceso dependerá de la complejidad del modelo, del tamaño de mallado y de la velocidad del ordenador.

#### 4.1.4 Postprocesor

El postprocesor de ANSYS contiene todos los elementos necesarios para la obtención y análisis de los resultados de la simulación. Los datos se pueden visualizar como lista de resultados o como gráfico. En la figura 4.25 se muestra el menú general del postprocesor en el que se muestran todas las opciones disponibles para la generación de resultados.

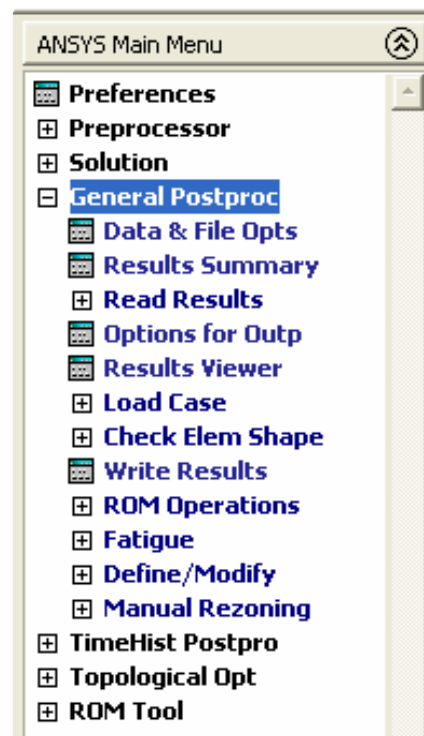


FIGURA 4.25: MENU DEL POSTPROCESOR



### 4.2 ADAPTACIÓN Y SIMPLIFICACIÓN DEL MODELO

Los modelos contruidos para la representación del Range Rover P38, tal y como se ha explicado en apartados anteriores, se definieron utilizando Solid Edge. Una vez finalizado el modelo el siguiente paso consiste en importar el modelo de Solid Edge a Ansys.

El primer paso para importar el chasis y la carrocería se centró en grabar los modelos en formato *iges*. Este formato permite cargar estas piezas en Ansys, para lo cual se debe seguir la siguiente secuencia de comandos:

*Utility Menu → File → Import → Iges*

Al seleccionar *iges* aparecerá una ventana en la que se podrán seleccionar los distintos *iges* que se deseen cargar. Una vez se confirme pulsando aceptar; ANSYS cargará el modelo seleccionado. Para representar el ensayo de choque se cargaron tres *iges*: *muro*, *carrocería* y *chasis*.

#### 4.2.1 Simplificación del modelo

Un aspecto fundamental a tener en cuenta en las simulaciones es el tiempo de simulación. En muchos casos este tiempo se hace demasiado elevado como para hacer viable el proyecto. Por tanto el siguiente paso en ANSYS se centró en la simplificación del modelo.

Las simplificaciones se orientaron hacia la eliminación de todos los elementos no intervinientes directamente en el choque, como por ejemplo los cristales del todoterreno. Para ello se aplicó la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu → Preprocessor → Modeling → Delete → Areas*

Otra característica que hace aumentar de forma considerable el tiempo de simulación es la complejidad de la geometría de los componentes. En muchos casos se hace indispensable mantener estas geometrías, pero en otras ocasiones sí es posible simplificarlas sin afectar al resultado final. El modelo inicial construido en Solid Edge presentaba una geometría especialmente complicada en la zona trasera, teniendo en cuenta que la zona trasera del vehículo no va a desempeñar un papel fundamental en el choque, se decidió simplificarla. Para ello se eliminaron las superficies especialmente complicadas para posteriormente crear nuevas superficies utilizando

como patrón líneas rectas, reduciendo la complejidad de la zona posterior del vehículo.

En la figura siguiente se muestra el aspecto final del modelo una vez efectuadas estas simplificaciones.

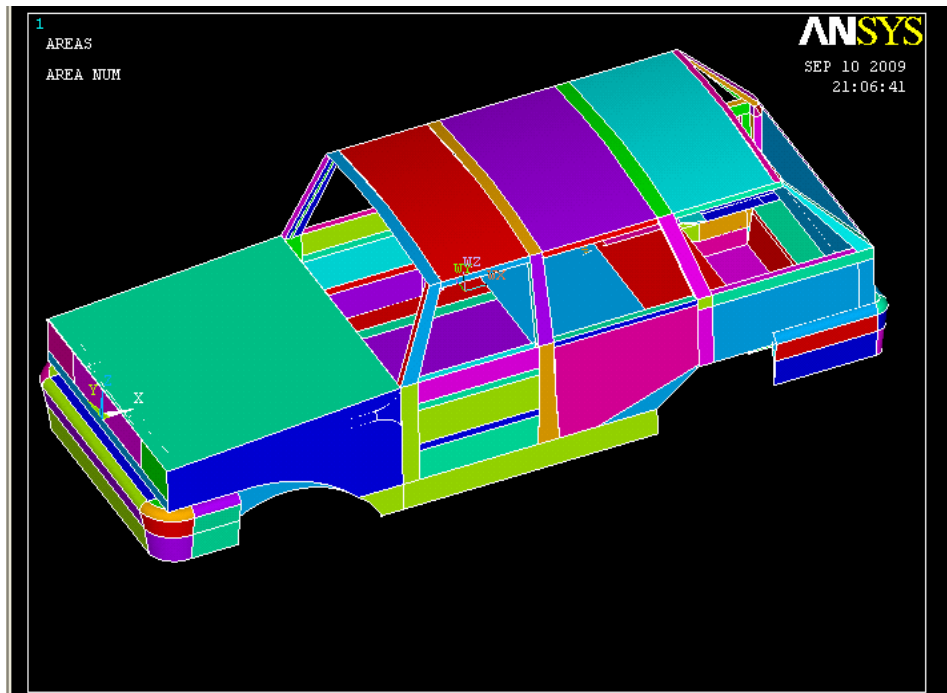


FIGURA 4.26: GEOMETRÍA SIMPLIFICADA

#### 4.2.2 Ensamblaje de chasis y carrocería

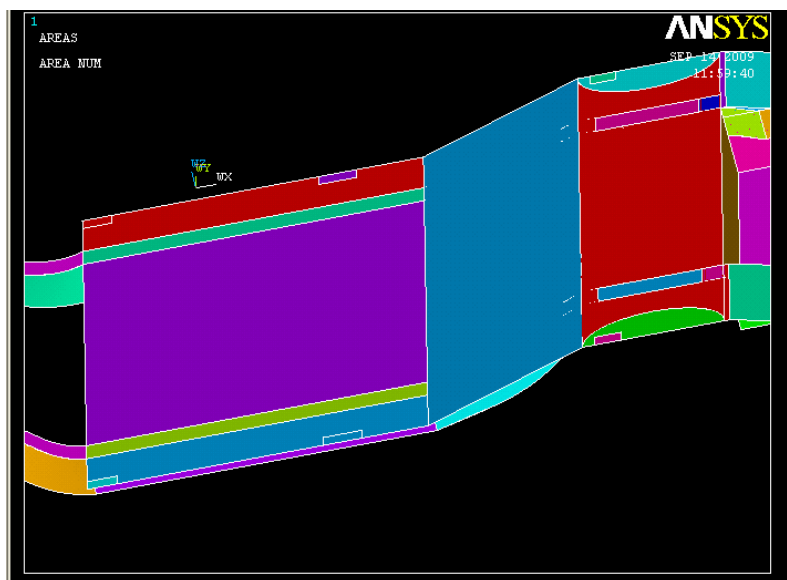
Finalizadas las simplificaciones del modelo, la siguiente etapa se centró en el ensamblaje del chasis y la carrocería. Al cargar los *iges* correspondientes a la carrocería y el chasis, ambos elementos se sitúan en función de la posición de los ejes de referencia definidos durante la construcción en Solid Edge. Por tanto, antes de proceder al ensamblaje se procedió a situarlos en las posiciones adecuadas para poder unirlos. Para ello se necesitó desplazar la carrocería para situarla en su posición de ensamblaje respecto del chasis. Esto se consiguió siguiendo la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu* → *Preprocesor* → *Modeling* → *Move / Modify* → *Areas*

Una vez que tanto la carrocería como el chasis se encontraron situados en sus posiciones de unión, la siguiente etapa consistió en el ensamblaje de ambos elementos.

En el modelo real la unión se lleva a cabo mediante *silenblock*, elementos que además de asegurar el ensamblaje entre estos componentes reducen considerablemente las vibraciones transmitidas por el chasis a la carrocería. Sin embargo, para los elementos de simulación no se han utilizado *silenblocks* principalmente por la falta de información técnica, en concreto en cuanto a dimensiones y a material (fundamental para la caracterización correcta del comportamiento del material). Por tanto, para solventar esta carencia, se ha optado por definir áreas comunes para aquellos elementos que deben estar unidos. Este proceso no sólo se ha efectuado para el ensamblaje del chasis y la carrocería sino que también se ha utilizado para diferentes componentes de la carrocería.

En la figura 4.27 se muestra una zona de la unión entre el chasis y la carrocería. En la zona izquierda se puede observar el suelo de la carrocería y los largueros del chasis. Inicialmente, en el modelo importado directamente desde Solid Edge esta área era una única unidad (todo el área era de un mismo color); sin embargo en la figura 4.27 se pueden apreciar diferentes colores, lo que representa que hay varias áreas definidas. En concreto, se puede ver la secuencia de colores azul, pistacho, morado, verde y rojo. Las franjas pistacho y verde representan las áreas de los largueros del chasis que también forman parte del suelo de la carrocería, por lo que de esta forma se fijan las uniones entre los distintos elementos.



**FIGURA 4.27: UNIÓN CHASIS - CARROCERÍA**

Para la definición de las áreas comunes se siguió la siguiente secuencia de comandos:

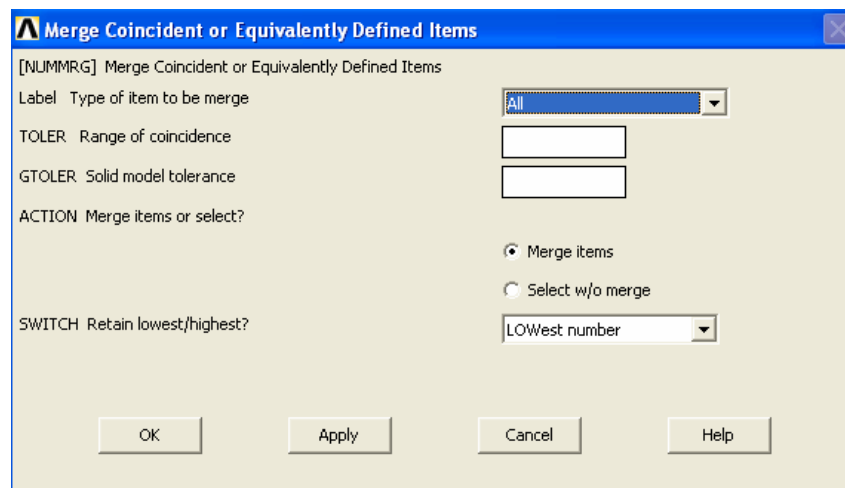


*Main menu → Preprocesor → Modeling → Operate → Booleans → Divide → Areas by... (Lines, Areas, working plane...)*

Este comando se utiliza para dividir un área por el elemento que se indique (en el caso de que se elija la opción división por *working plane* el primer paso es situar el plano xy del *working plane* en la posición indicada para dividir el área, ya que la división se lleva a cabo a partir de dicho plano). Una vez finalizada la división se hace necesario efectuar un *merge* para unificar aquellos elementos que se encuentren repetidos en el modelo. Para ello se debe seleccionar el siguiente comando:

*Main menu → Preprocesor → Numering ctrl. → Merge Ítems*

Tras seleccionar esta sentencia se abrirá un cuadro de diálogo (figura 4.28) en el que se podrá elegir el tipo de elemento sobre el que se quiere efectuar el *merge*. Generalmente se suele seleccionar la opción *all* para asegurar la inexistencia de elementos repetidos.



**FIGURA 4.28: CUADRO DE DIÁLOGO PARA DEFINICIÓN DEL MERGE**

Otra opción para la unión de elementos consiste en eliminar las áreas que se desea unificar para posteriormente crearlas de nuevo definiendo los contactos entre los diferentes elementos. Esta opción es menos recomendable porque suele ser mucho más lenta y más compleja de llevar a cabo sin que aparezcan problemas.

El último paso, una vez finalizado el ensamblaje, se centró en la fijación de la posición del conjunto chasis- carrocería respecto del muro. Las dimensiones del muro como la posición relativa entre ellos vienen definidas en el apartado dedicado a la EuroNCAP. El proceso para posicionar ambos elementos es análogo al explicado en este



mismo apartado para la colocación de la carrocería en la posición de ensamblaje con el chasis.

### 4.2.3 Definición de nuevas piezas del modelo

En los siguientes apartados se va a proceder a exponer brevemente el proceso de construcción de algunos elementos que hasta el momento no se habían incluido en el diseño del vehículo.

#### 4.2.3.1 Diseño del motor y ensamblaje

Un elemento que juega un papel fundamental en caso de colisión frontal y que hasta el momento no se había definido es el motor. El primer paso para su generación consistió en la búsqueda de información referente a las dimensiones del motor y su peso.

Una de las versiones del Range Rover P38 monta un motor V8 con peso de 230 Kg y las dimensiones son las mostradas en la siguiente figura ([www.v8engines.com/engine-4.htm](http://www.v8engines.com/engine-4.htm)):

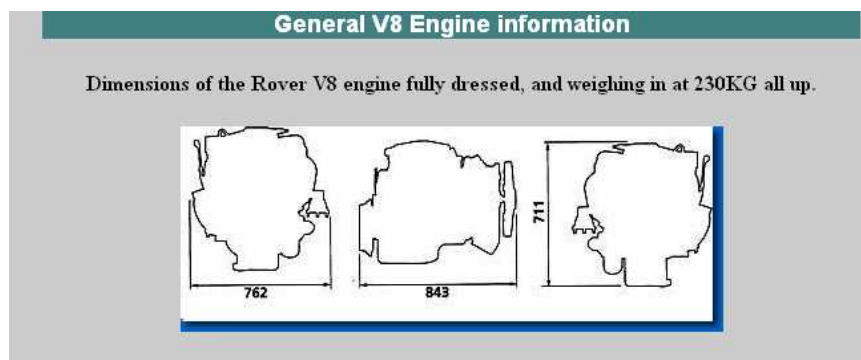


FIGURA 4.29: DIMENSIONES Y PESO DEL MOTOR RANGE ROVER V8

Una vez conocidas sus dimensiones y su peso se pasó a su construcción en Ansys. Para ello inicialmente se crearon las áreas que definen su contorno (a) y a continuación se definió como un volumen (b). Se utilizaron las siguientes secuencias de comandos:

- (a) *Main menu → Preprocesor → Modeling → Create → Areas → Arbitrary → By Lines*
- (b) *Main menu → Preprocesor → Modeling → Create → Volumen → Arbitrary → By Areas*

Antes de poder crear las áreas se procedió a definir los puntos de los vértices del cubo encargado de simular el motor para



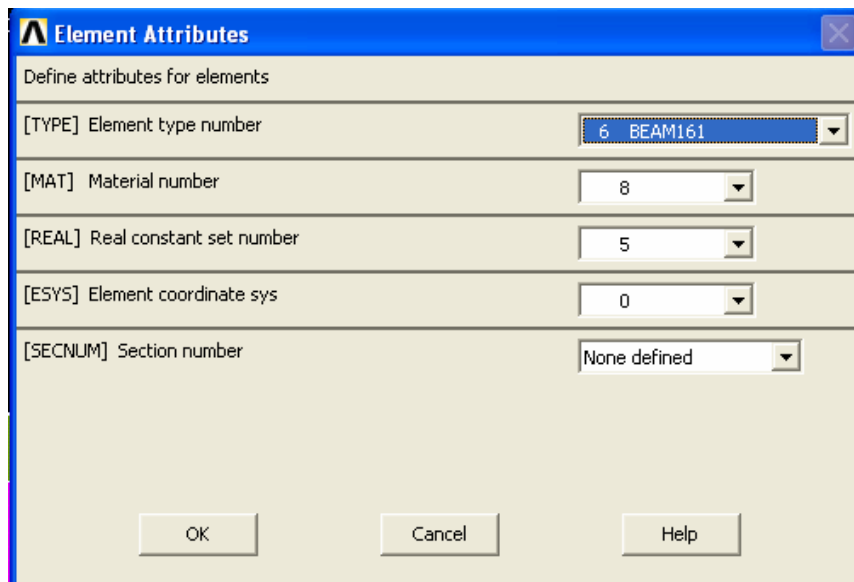
posteriormente construir las líneas y a partir de éstas las áreas y el volumen. El proceso de creación es análogo para todos los elementos.

El siguiente paso consistió en la unión del motor al chasis del vehículo. Para ello se definieron elementos BEAM161, cuyas características se exponen en apartados posteriores, lo suficientemente rígidos para servir de unión entre ambos. La secuencia de comandos necesarios para la creación de estos elementos se muestra a continuación:

*Main menu → Preprocesor → Modeling → Create → Elements → Elements Attributes*

Tras esta primera secuencia aparecerá el cuadro de diálogo mostrado en la figura 4.30 en el que se deberá seleccionar el tipo de elemento, material y constante real. Una vez fijados los parámetros deseados se definirán la posición de los elementos de unión seleccionando el punto inicial y final de cada elemento viga. Para ello es necesario seleccionar los siguientes comandos:

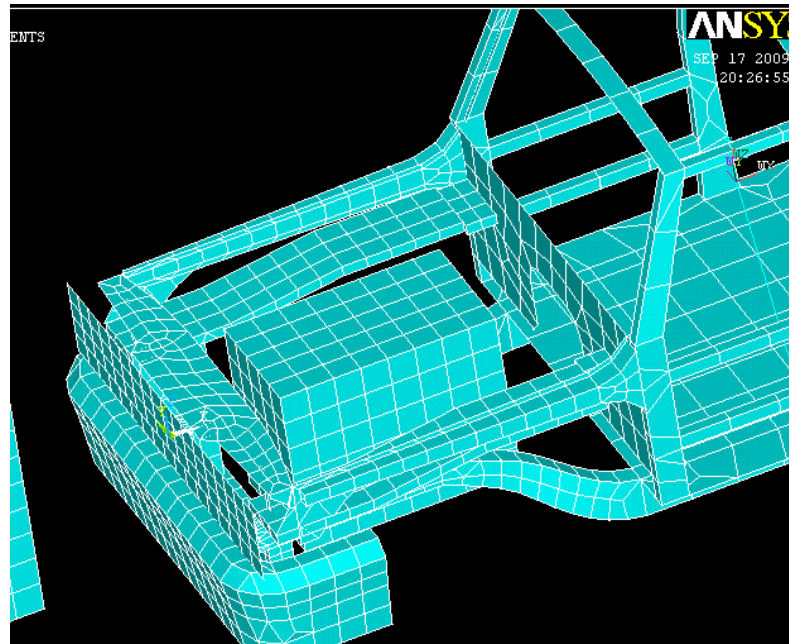
*Main menu → Preprocesor → Modeling → Create → Elements → Auto Numbered → Thru Nodes*



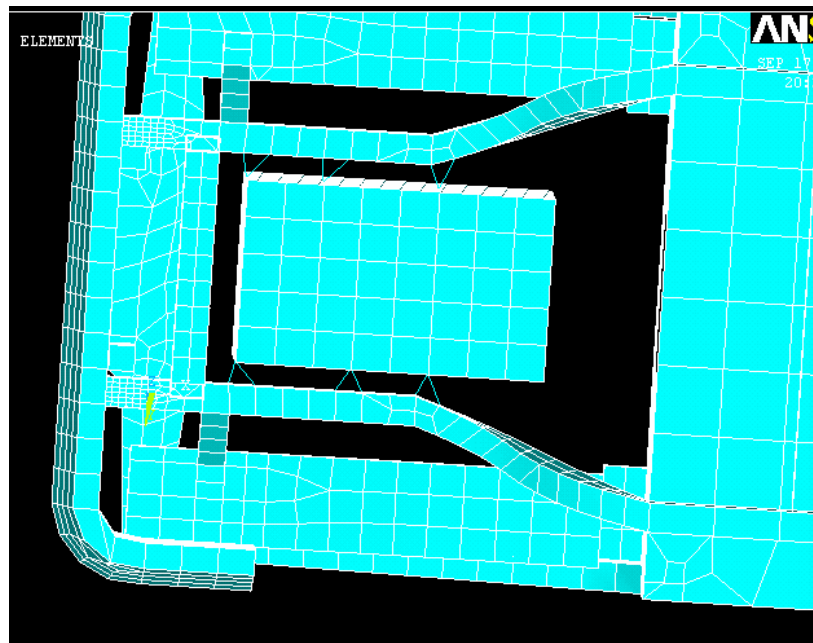
**FIGURA 4.30: CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA CREACIÓN DE ELEMENTOS**

La masa final se consiguió definiendo la densidad del material en función del volumen total del motor.

El resultado final se muestra a continuación:



**FIGURA 4.31: POSICIÓN DEL MOTOR RESPECTO A CARROCERÍA Y CHASIS**



**FIGURA 4.32: ELEMENTOS UNIÓN CHASIS - MOTOR**

### 4.3 CARACTERIZACIÓN DEL MODELO

Hasta el momento se dispone del modelo del todoterreno adaptando y simplificando el modelo inicial que se construyó usando el programa de diseño Solid Edge. La siguiente etapa consiste en definir las características de los distintos componentes existentes en el modelo para poder mallar, aplicar las condiciones de contorno y simular [34].

A continuación se van a exponer las distintas etapas de este proceso.

#### 4.3.1 Tipos de elementos

ANSYS dispone de una gran variedad de tipos de elementos, cada uno de ellos orientado a un tipo de problema. Para la simulación del crash test se han utilizado 4 tipos de elementos: BEAM161, SHELL163, SOLID169 Y MASS166.

##### ▪ SHELL163

El elemento SHELL163 es un elemento de 4 nodos que se utilizará para todos los componentes del vehículo salvo el motor. Este elemento cuenta con 12 grados de libertad en cada uno de los nodos: translaciones, aceleraciones, velocidades y rotaciones.

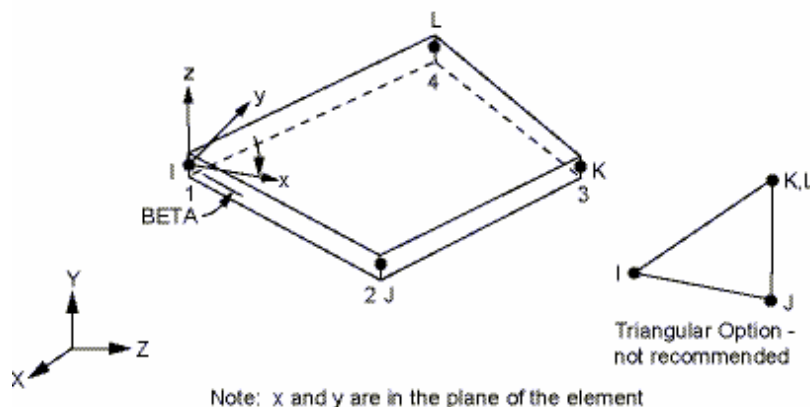


FIGURA 4.33: PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL ELEMENTO SHELL163

Para la elección de este elemento se seguirá la siguiente secuencia de comandos en el main menu:

*Preprocesor → Element Type → Add/Edit/Delete → Add → LS-DYNA Explicit → Thin Shell 163*

## ▪ SOLID164

Este tipo de elemento se ha utilizado tanto para el muro como para el bloque motor. Este elemento cuenta con 9 grados de libertad en cada uno de los nodos: translaciones, aceleraciones y velocidades.

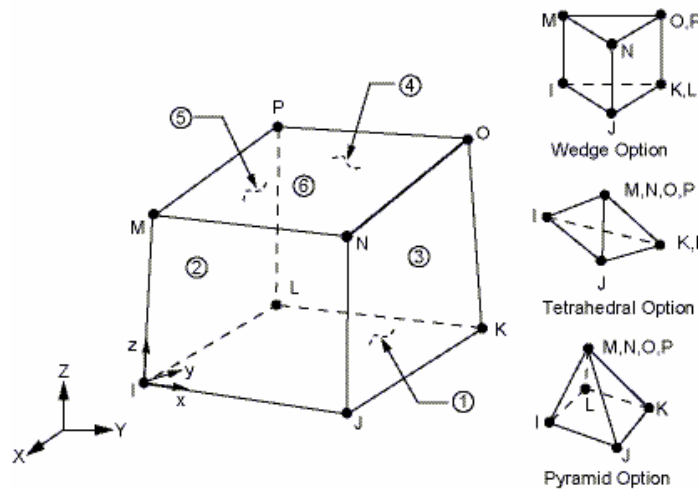
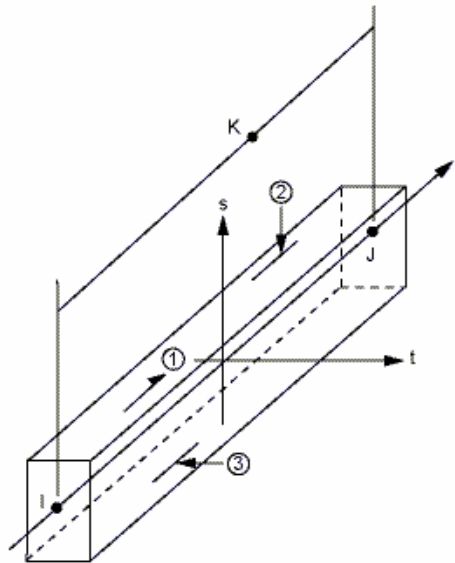


FIGURA 4.34: PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL ELEMENTO SOLID164

## ▪ BEAM161

El elemento BEAM161 se ha utilizado para la construcción las uniones entre chasis-carrocería-bloque motor. Este elemento cuenta con 12 grados de libertad en cada uno de los nodos: translaciones, aceleraciones, velocidades y rotaciones.



**FIGURA 4.35: PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL ELEMENTO BEAM161**

Para la elección de este elemento se seguirá la siguiente secuencia de comandos en el main menu:

*Preprocesor* → *Element Type* → *Add/Edit/Delete* → *Add* → *LS-DYNA Explicit* → *3D Beam 161*

### 4.3.2 Constantes reales

Cada uno de los elementos que se han definido en el apartado anterior, destinados a la caracterización de los diferentes componentes del modelo, necesitan la definición de una serie de parámetros reales para fijar las propiedades de cada uno de estos componentes. Los tipos de elementos seleccionados, como el SHELL163, son elementos genéricos, por tanto para diferenciar unas zonas a otras se tendrán que definir características especiales. Estas características son las llamadas *constantes reales*.

Para introducir estas características se tendrá que ejecutar la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu* → *Preprocesor* → *Real Constants* → *Add*

En la tabla que se muestra a continuación se resumen las constantes reales para los diferentes elementos:



CONSTANTE REAL	TIPO DE ELEMENTO	COMPONENTE	VALORES
SET 1	SHELL163	Largueros	Espesor = 1 (mm)
SET 2	SHELL163	Chasis	Espesor = 3 (mm)
SET 3	SHELL163	Carrocería	Espesor = 1,5 (mm)
SET 4	SHELL163	Parachoques	Espesor = 3 (mm)
SET 5	BEAM163	Unión motor-chasis	Espesor = 3 (mm)
-	SOLID 169	Motor - Muro	No necesita constantes reales

**TABLA 4.1: DATOS PARA DEFINICIÓN DE CONSTANTES REALES DE LOS ELEMENTOS**

### 4.3.3 Materiales y propiedades

El último punto a definir antes de proceder al mallado del modelo se centra en la definición de los tipos de material y sus propiedades. Para cada tipo de elemento se podrán definir distintos materiales dependiendo del fin al que se van a destinar. Para asignar materiales se tendrá que ejecutar el siguiente comando:

*Main menu → Preprocesor → Material Props → Material Models*



## CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN DEL ENSAYO



Al seleccionar este comando aparece un cuadro de diálogo en el que se encuentran los diferentes modelos de material existentes. Los materiales seleccionados son los siguientes:

- Para el chasis, largueros, carrocería y vigas para la unión del motor y estructura se ha seleccionado el acero de construcción A-42. Este material se utiliza actualmente para el diseño de vehículos.
- El muro y el bloque motor se han definido de un material rígido para evitar las deformaciones durante el ensayo. Este material tendrá unas propiedades similares al cemento.
- El material seleccionado para el parachoques se ha obtenido del artículo "Parametric study of automotive composite bumper beams subjected to low-velocity impacts. [35]

Las propiedades de los materiales utilizados se muestran en la siguiente tabla:

Componente	Tipo de material	Características
<b>Largueros</b>	Plastic Kinematic	Densidad = $7.85 \text{ e-9}$ Ex = $2.1 \text{ e } 5$ Nuxy = 0.3 Yield Stress = 207 Tangent Modulus = 0.75 Hardening Parm = 1 Strain Rate (c) = 40 Strain Rate (p) = 5 Failure strain = 0
<b>Chasis</b>	Plastic Kinematic	Densidad = $7.85 \text{ e-9}$ Ex = $2.1 \text{ e } 5$ Nuxy = 0.3 Yield Stress = 207 Tangent Modulus = 0.75 Hardening Parm = 1 Strain Rate (c) = 40 Strain Rate (p) = 5 Failure strain = 0





## CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN DEL ENSAYO



<b>Carrocería</b>	Plastic Kinematic	Densidad = $7.85 \text{ e-9}$ Ex = $2.1 \text{ e } 5$ Nuxy = 0.3 Yield Stress = 207 Tangent Modulus = 0.75 Hardening Parm = 1 Strain Rate (c) = 40 Strain Rate (p) = 5 Failure strain = 0
<b>Parachoques</b>	Plastic Kinematic	Densidad = $7.85 \text{ e-9}$ Ex = 1200 Nuxy = 0.3 Yield Stress = 207 Tangent Modulus = 0.75 Hardening Parm = 1 Strain Rate (c) = 40 Strain Rate (p) = 5 Failure strain = 0
<b>Unión motor-chasis</b>	Plastic Kinematic	Densidad = $7.85 \text{ e-9}$ Ex = $2.1 \text{ e } 10$ Nuxy = 0.3 Yield Stress = 207 Tangent Modulus = 0.75 Hardening Parm = 1 Strain Rate (c) = 40 Strain Rate (p) = 5 Failure strain = 0
<b>Muro</b>	Rigid	Densidad = $5.86 \text{ e-10}$ Ex = $2.1 \text{ e}5$ Nuxy = 0.3
<b>Motor</b>	Rigid	Densidad = $7.3 \text{ e-4}$ Ex = $3 \text{ e}7$ Nuxy = 0.292

**TABLA 4.2: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL MODELO**

NOTA: como se puede observar, el elemento MASS166 no necesita ningún tipo de material ya que únicamente es necesario conocer su masa.



### 4.3.4 Mallado del modelo

El mallado del modelo es, posiblemente, la parte más importante para la obtención de los resultados deseados en la resolución de un ensayo. El mallado que se elija influirá en la calidad de la solución de la simulación. Tal y como se ha comentado anteriormente ANSYS dispone de dos modos de mallado: *mallado libre* y *mallado manual*. El primero es el que el programa malla automáticamente el modelo, mientras que el segundo es el diseñador el que fija el tamaño de malla.

Para la resolución de este proyecto se ha elegido la opción de mallado específico, definiendo el tamaño de mallado adecuado para cada componente. Para seleccionar el tamaño de mallado se debe aplicar la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu → Meshing → Size Controls → Areas → Picked Areas*

Una vez aplicado este comando se seleccionan las áreas que se desea malla y una vez confirmadas las áreas aparecerá la ventana mostrada en la figura 4.x en la que se definirá el tamaño de mallado. Tras definir el tamaño de malla se seguirán los siguientes pasos para que comience el mallado de las áreas seleccionadas en el paso anterior:

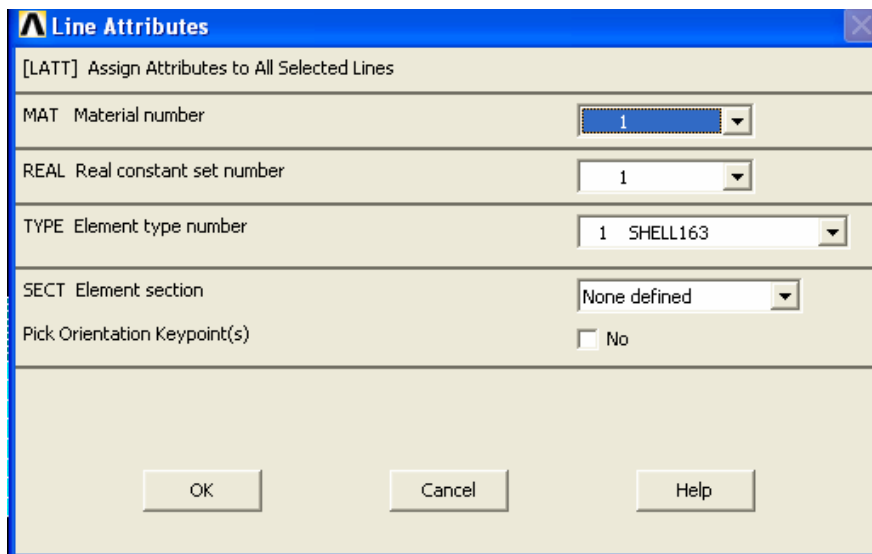
*Main menu → Meshing → Mesh attributes → Areas*

Mediante esta secuencia se definen las propiedades de las áreas seleccionadas, es decir, se selecciona el tipo de elemento, material y constante real (figura 4.36)

El último paso consiste en la orden para comenzar con el mallado de las áreas cuyas propiedades han sido fijadas mediante los pasos anteriores. Para ello se deben seleccionar las siguientes opciones:

*Main menu → Meshing → Mesh Tools → Areas → Mesh*

En la tabla 4.3 se muestra un esquema de las propiedades fijadas para cada uno de los componentes.



**FIGURA 4.36: CUADRO DE DIÁLOGO PARA DEFINIR PROPIEDADES DE ÁREAS A MALLAR**

COMPONENTE	ELEMENT TYPE NUMBER	MATERIAL NUMBER	REAL CONSTANT
Largueros	SHELL163	1	1
Chasis	SHELL163	2	2
Carrocería	SHELL163	3	3
Parachoques	SHELL163	4	4
Unión chasis motor	BEAM163	7	6
Muro	SOLID164	5	-
Motor	SOLID164	6	-

**TABLA 4.3: CUADRO RESUMEN DE PROPIEDADES POR ELEMENTO**

## 4.3.5 Creación de componentes

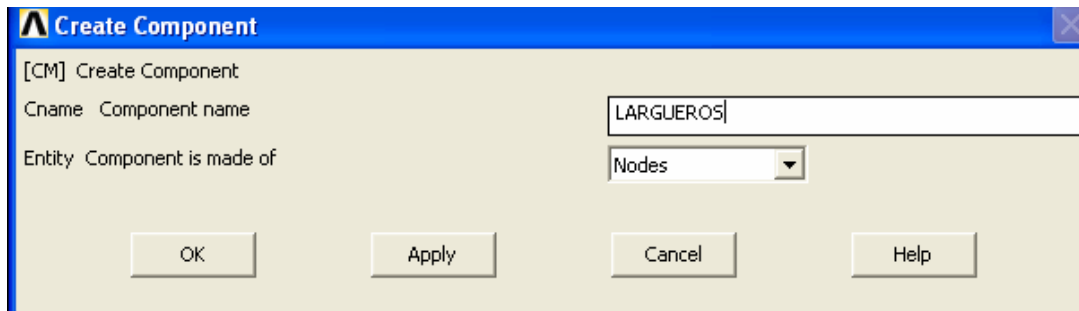
Para los modelos en los que se definen diferentes tipos de mallado y material se hace necesario la definición de *componentes*. En el caso del crash test se crearán siete componentes: chasis, largueros, carrocería, parachoques, muro, motor y unión motor-vehículo.

La creación de los componentes se ha efectuado a medida que se han ido definiendo los distintos tipos de mallado existentes en el modelo. Para ello, una vez mallado un tipo de elemento, se aplicó la siguiente secuencia de comandos:

*Utility menu → Comp / Assembly → Create component*

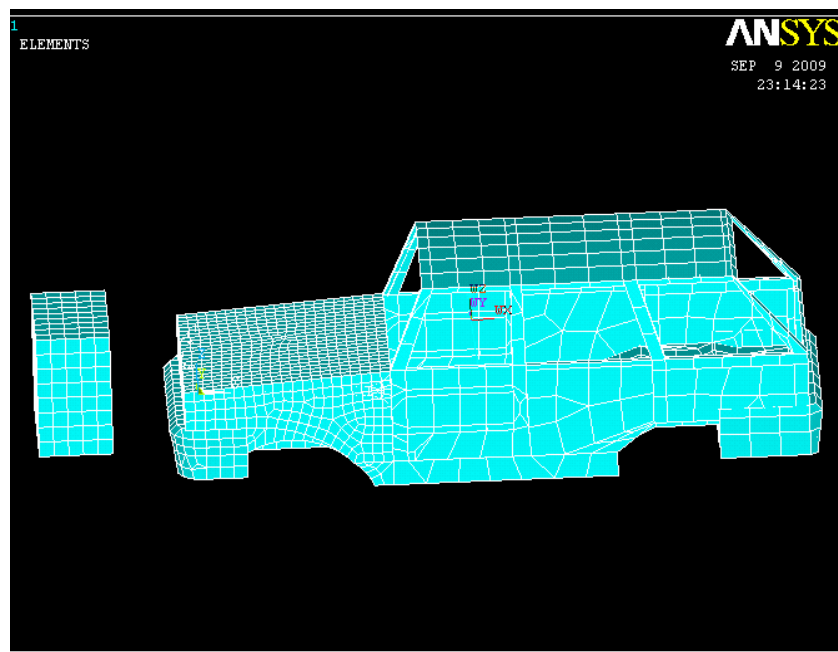
En ese momento aparecerá un cuadro de diálogo (figura 4.37) donde se tendrá que introducir el nombre del componente y seleccionar la opción *Nodes*. Anteriormente a la creación de un *component* se ha creado una *part* utilizando la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu* → *LS-DYNA Option* → *Part Option* → *Create part*



**FIGURA 4.37: CUADRO DIÁLOGO DE CREACIÓN DE COMPONENTES.**

Una vez mallados todos los elementos del modelo, el resultado se muestra en la figura 4.38. Como se puede observar los elementos aparecen mallados de forma diferente ya que se ha seleccionado un tamaño de malla diferente para las diferentes zonas. En las zonas donde las deformaciones se estiman mayores se ha introducido un mallado más fino para evitar futuros problemas durante la simulación.



**FIGURA 4.38: MODELO FINAL MALLADO PARA LA SIMULACIÓN**



### 4.4 RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA MEDIANTE ANSYS LS - DYNA

El último paso antes de comenzar con la simulación se centró en la aplicación de las condiciones de contorno. En los siguientes apartados se expondrá el proceso de aplicación de dichas condiciones de contorno [36].

#### 4.4.1 Aplicación de las condiciones de contacto

En aquellas simulaciones en las que distintos componentes del modelo choquen entre sí, se hace imprescindible definir las condiciones de contacto. LS-DYNA dispone de tres tipos de contacto entre componentes (*contacto simple*, *nodo-superficie* o *superficie-superficie*). En el caso de la simulación objeto de este proyecto se ha seleccionado la opción contacto simple entre superficies (*surface to surf*). Para ello se siguió la siguiente secuencia de comandos en el main menu:

*Preprocesor → LS-DYNA Options → Contact → Define Contact*

#### 4.4.2 Aplicación de las restricciones

Una vez definidas las condiciones de contacto la siguiente etapa consistió en la definición de las posibles restricciones de los diferentes componentes del modelo. En concreto se han definido las siguientes restricciones [37]:

- Restricción de movimiento en el muro

Durante el ensayo de impacto el muro no se puede desplazar por lo que se fijó como desplazamiento del muro el valor cero (en todas las direcciones del espacio). Esta restricción se aplicó sobre los nodos del muro aplicando la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu → Solution → Constrains → Apply → On lines*

El proceso de definición de restricciones se definió en los apartados dedicados a la introducción a Ansys.

- Restricción del desplazamiento vertical del todoterreno.

Para la simulación no se ha definido la acción de la gravedad y como consecuencia de esto, al ensayar el impacto el vehículo saldría



disparado en dirección vertical. Este fenómeno es completamente irreal, por lo que para emular la acción de la gravedad se procedió a restringir el desplazamiento en el eje Z del vehículo. Se aplicó el siguiente código:

*Main menu → Solution → Constrains → Apply → On Areas*

Esta restricción no se aplicó sobre todo el todoterreno, sino que se fijó únicamente para la zona trasera del vehículo.

### **4.4.3 Condiciones de resolución del análisis**

Para la simulación del crash test se ha fijado un tiempo de simulación igual a 0.07 segundos. Para ello se aplicó la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu → Solution → Time Controls → Solution time*

### **4.4.4 Solución**

Para comenzar la simulación se tendrá que dar la orden ejecutando el siguiente comando:

*Main menu → Solution → Solve*

Tras seleccionar este comando el programa comenzará con las pertinentes simulaciones hasta alcanzar el tiempo de simulación definido en el apartado anterior.

***CAPÍTULO V:***

***RESULTADOS***



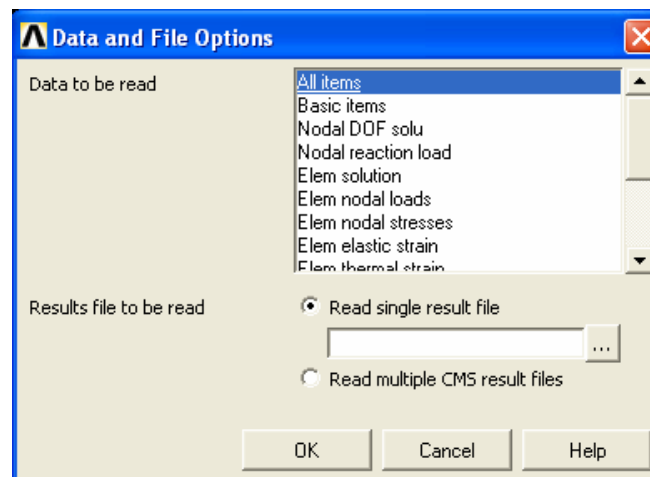
### 5.1 OBTENCIÓN DE RESULTADOS

El archivo creado por el procesador del programa contiene todos los datos de la simulación. Estos datos pueden representarse en distintos formatos, siendo los más usuales en forma visual o tabulada.

Antes de que el programa pueda leer los datos del archivo de solución, se le tendrá que ordenar que cargue los resultados mediante la siguiente secuencia de comandos:

*Main menu → General Postproc → Data & File*

Tras aplicar este comando aparecerá la ventana mostrada en la figura 5.1. En esta ventana se seleccionará la opción *all ítems* y pulsando el botón “...” se abrirá una nueva ventana para poder elegir el archivo con los datos de la simulación, el cuál tendrá la extensión *.RST*.



**FIGURA 5.1: CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA CARGA DE LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN.**

Una vez el programa ha reconocido todos los datos, se puede comenzar con la visualización y estudio de los resultados.

Los programas informáticos de elementos finitos permiten obtener un vídeo de la simulación, generado a partir de los valores obtenidos por el programa en cada paso. ANSYS genera automáticamente este vídeo si se ejecuta el comando:

*Utility menu → PlotCtrls → Animate → Over Results*





## CAPÍTULO 5: RESULTADOS



Dentro de este cuadro de diálogo se podrán elegir las condiciones de representación de los resultados.

Por otro lado, los valores de las variables obtenidas en cada instante de tiempo se pueden representar de forma tabulada o mediante diversas gráficas, las cuales representarán los datos en función del tiempo.

Para poder obtener las tablas de los datos se tendrá que ejecutar el comando:

*Utility menu → TimeHist Postpro → List Variables*

Entonces aparecerá un archivo de texto donde aparecerán los datos elegidos para cada instante de tiempo.

Para poder crear las gráficas, primero se tendrán que definir las variables que se quieren mostrar. Esto se realiza mediante el comando:

*Utility menu → TimeHist Postpro → Define Variables*

En el menu que aparece se podrá elegir el tipo de variable que se quiera representar, dependiendo del tipo de elemento del cual se quieran obtener los datos.

Después de definir las funciones necesarias, el programa las representa al ejecutar el siguiente comando:

*Utility menu → TimeHist Postpro → Graph Variables*



### 5.2 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA

El primer estudio a realizar es el análisis de la deformación de la estructura del vehículo. Tal y como se ha indicado anteriormente se han llevado a cabo diversas simulaciones en función de la posición relativa entre el muro y el todoterreno. Por tanto se van a analizar dichas configuraciones por separado y finalmente se realizará una comparativa entre ellas.

#### 5.2.1 Configuración test EuroNCAP

Para poder analizar la validez del test fronto-lateral, EuroNCAP el primer paso consiste en la simulación de dicha configuración. Este ensayo servirá como referencia para la comparación con el resto de configuraciones.

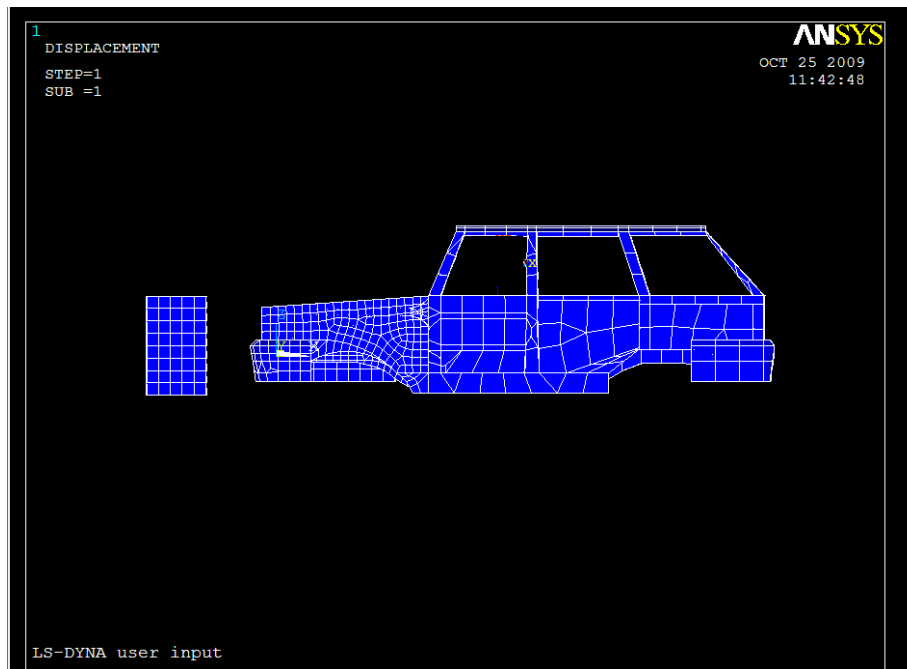
La posición relativa entre el muro y el vehículo viene definida en el apartado 2.3.3.1. El parámetro principal que define esta configuración es la sección frontal del vehículo que impacta contra el muro, en este caso alcanza un valor del 40 % partiendo del lateral del conductor.

El primer estudio a realizar es la comprobación de forma visual de las deformaciones sufridas por el todoterreno. Para ello se creará una representación de la simulación vista desde un plano longitudinal al vehículo. Igualmente se incluirán figuras que muestren el impacto desde diferentes ángulos.

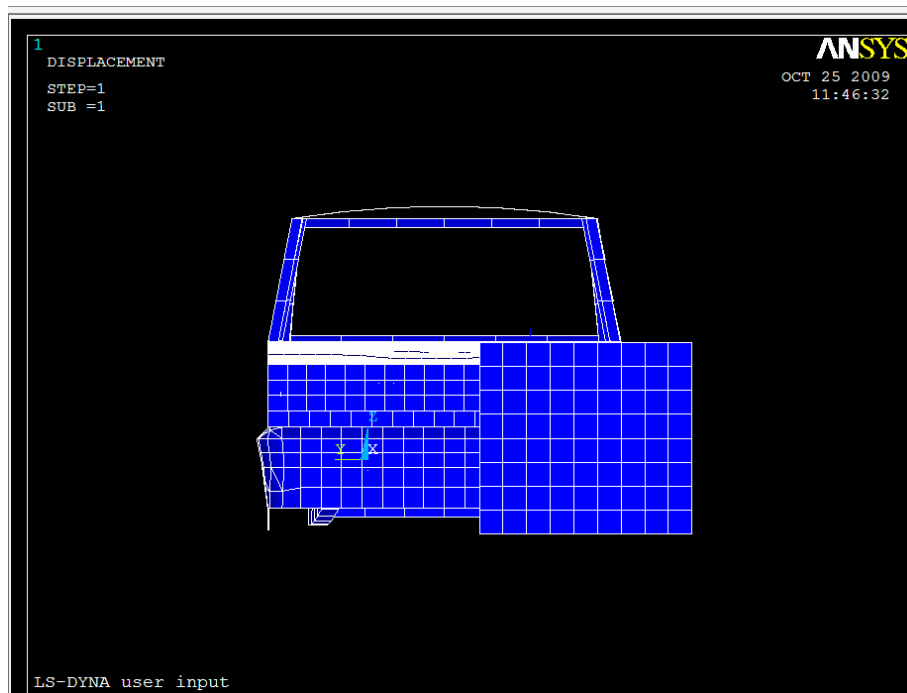
Los pasos más importantes del vídeo generado por el programa quedan representados por las siguientes figuras:

- La figura 5.2 modeliza una vista longitudinal de la posición del muro y el vehículo justo antes del ensayo.
- La figura 5.3 muestra una vista transversal de la estructura del vehículo y el muro en la que se puede apreciar la posición relativa entre estos componentes.
- En la figura 5.4 se puede ver el instante inicial justo antes del impacto contra el muro. Este instante se alcanza a los 0.0224 segundos desde el comienzo del ensayo y será el mismo para las distintas configuraciones.

- La figura 5.5 representa un tiempo de ensayo igual a 0.0462 segundos. En este momento se puede observar la deformación que sufre el vehículo en dicho instante.
- En la figura 5.6 se muestra el final de la simulación, fijado para un tiempo de 0.07 segundos.



**FIGURA 5.2: POSICIÓN INICAL DEL ENSAYO (VISTA LONGITUDINAL)**



**FIGURA 5.3 POSICIÓN INICAL DEL ENSAYO (VISTA TRANSVERSAL)**



## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

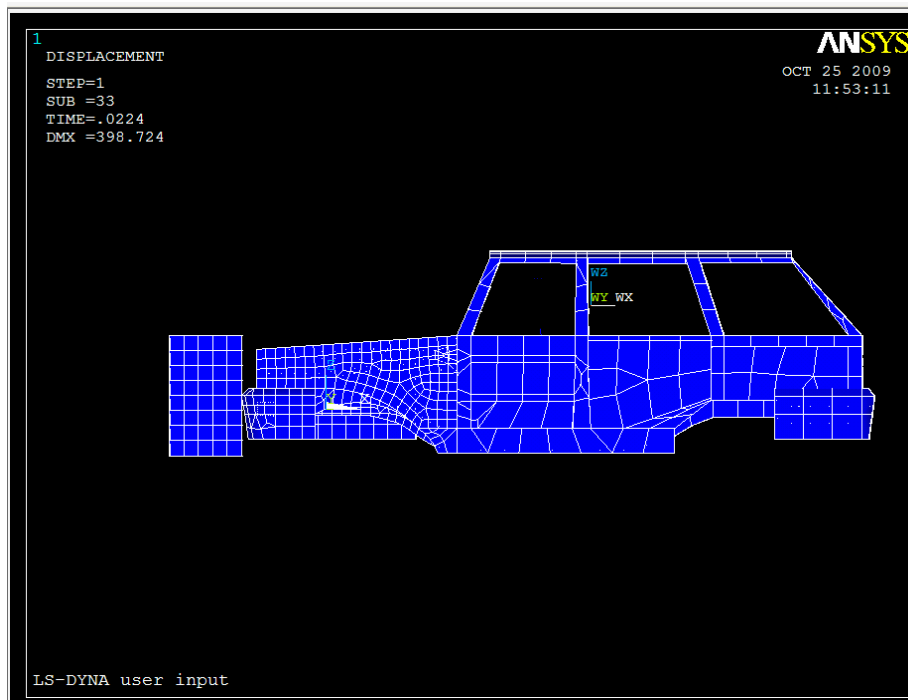


FIGURA 5.4: POSICIÓN JUSTO ANTES DEL IMPACTO

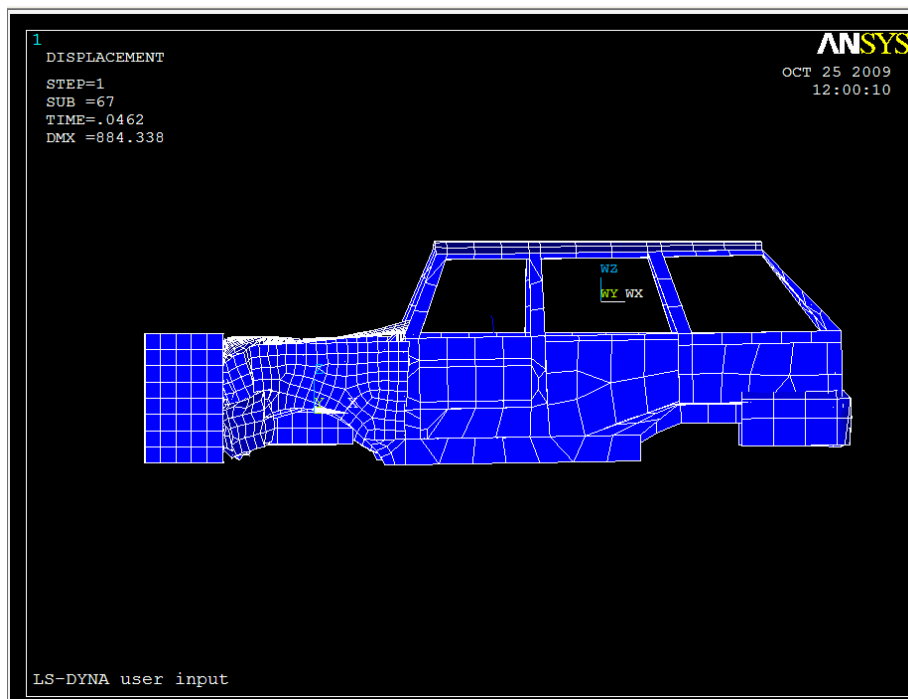
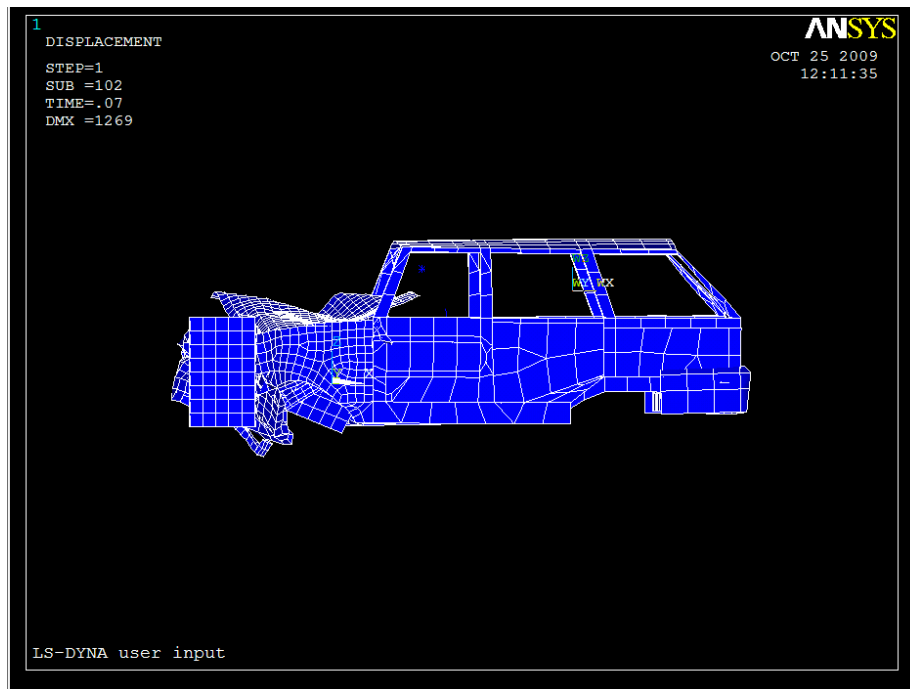


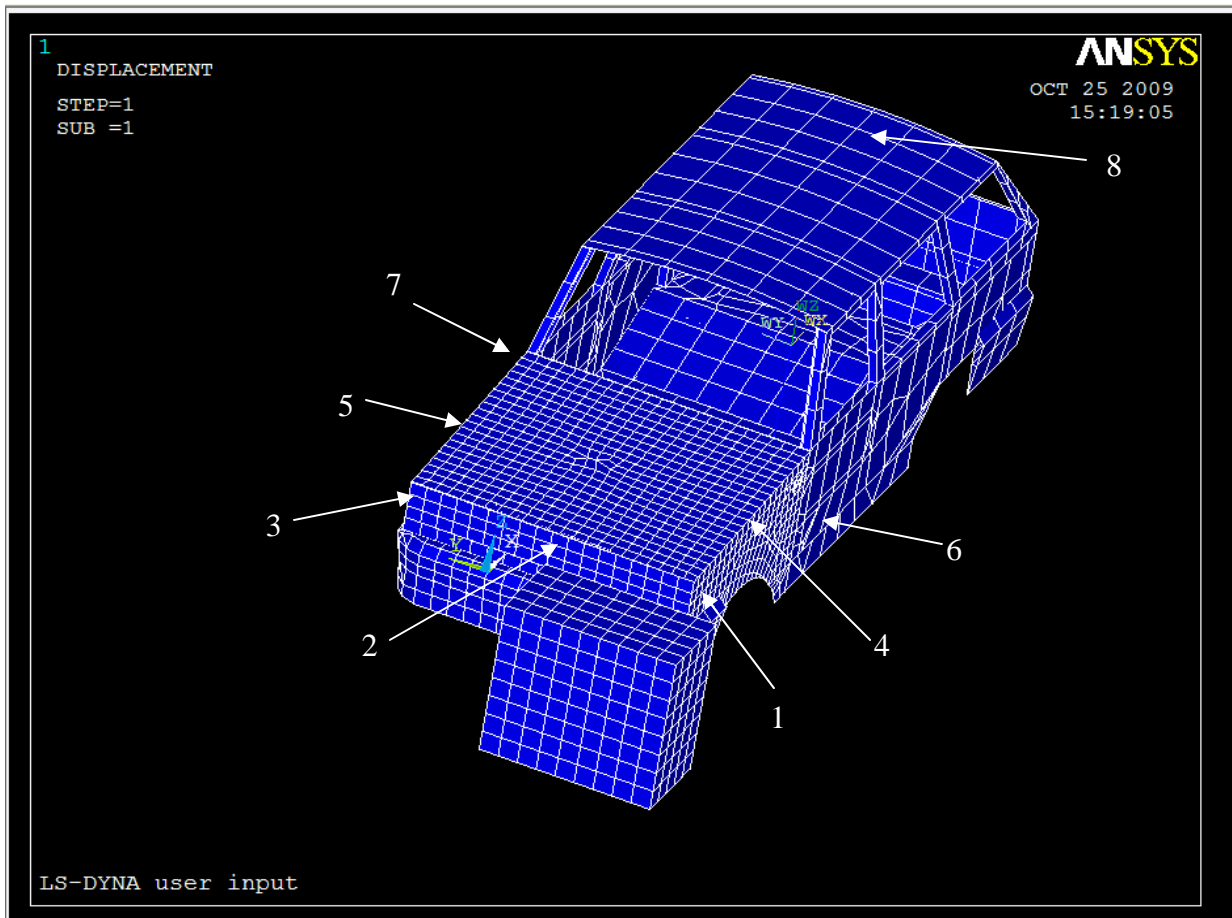
FIGURA 5.5: ESTADO DE LA SIMULACIÓN EN EL INSTANTE  
 $t = 0.0462$  SEGUNDOS

**FIGURA 5.6: ESTADO FINAL DE LA SIMULACIÓN**

Aparte del estudio visual del movimiento y la deformación de la estructura del todoterreno, se va a proceder a la obtención de gráficas que definan el proceso de impacto del vehículo. Para ello se definirán distintos puntos de la estructura en los que se medirán distintos parámetros (figura 5.7 Y 5.8). Estos puntos se han distribuido en distintas secciones del vehículo para poder analizar los resultados en diferentes zonas y se mantendrán fijos en los siguientes apartados para así poder comparar los resultados.

Las gráficas que se van a obtener para el estudio del comportamiento del vehículo durante el choque son las siguientes:

- Desplazamientos
- Velocidades
- Tensiones
- Deformaciones



**Figura 5.7: PUNTOS ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA**

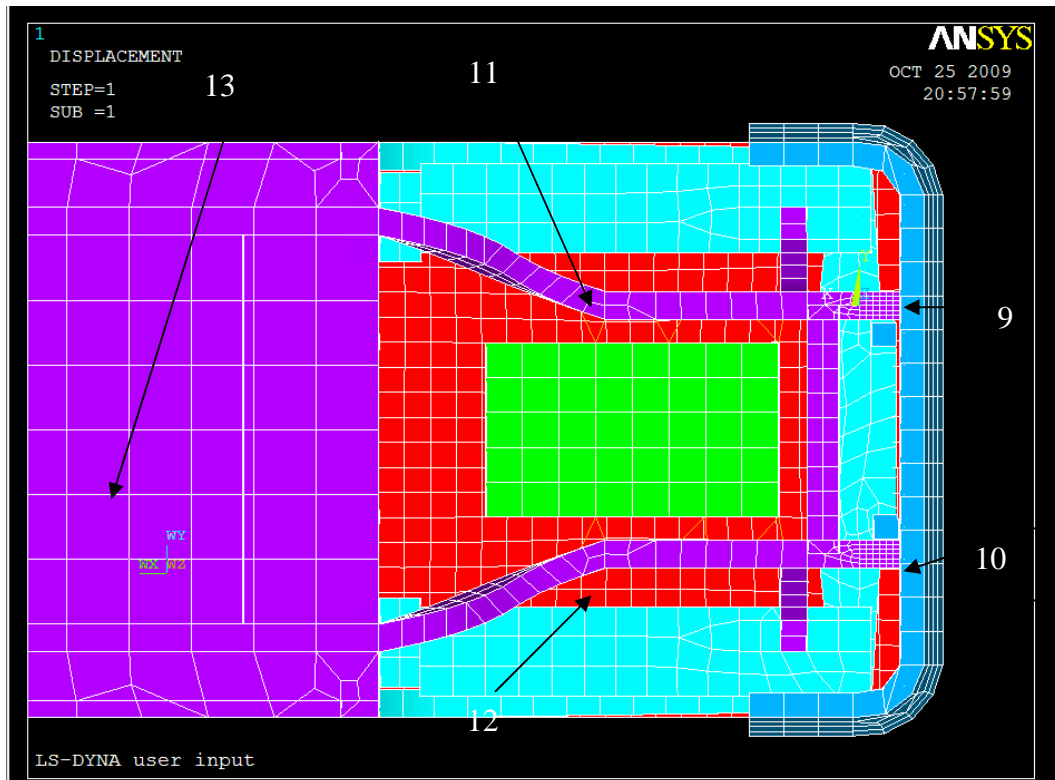
En la figura 5.7 y 5.9 se muestran puntos pertenecientes a la carrocería del vehículo mientras que en la figura 5.8 se representan puntos pertenecientes al chasis del vehículo. Mediante la caracterización del comportamiento de estos puntos se podrá ver el comportamiento del vehículo durante el choque.

En las figuras 5.10, 5.11 y 5.12 se encuentran representadas las funciones de la variación del vector desplazamiento en la componente X de cada punto seleccionado:

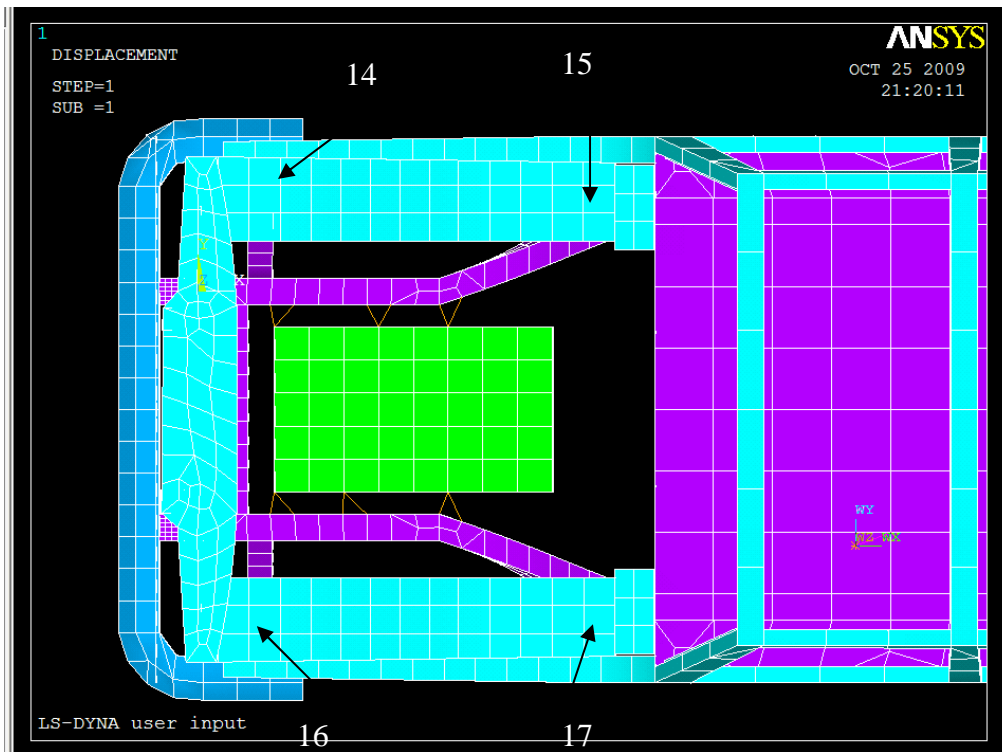
- En la figura 5.10 se puede observar el desplazamiento de los puntos a lo largo del eje X. Los puntos 1 y 2 ven frenado su desplazamiento al chocar con el muro mientras que en el punto 3, al no impactar directamente, la reducción del desplazamiento es menor. Los puntos situados en el lado que impacta contra el muro ven reducido su desplazamiento en mayor medida que los del otro lado. Otro aspecto importante a tener en cuenta es como el instante en el que

el desplazamiento sufre la variación por el impacto cambia en función de la posición del nodo elegido.

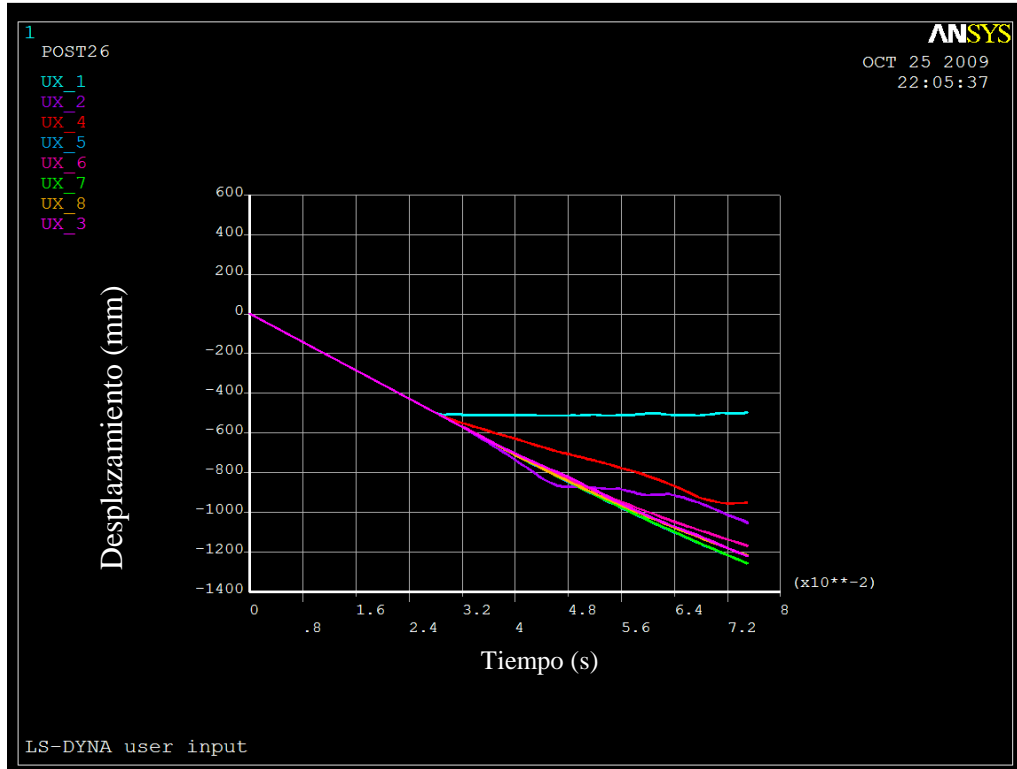
- En la figura 5.11 se puede observar el desplazamiento de diversos puntos del chasis en la dirección del eje X. De la misma forma que en la figura 5.10, se distinguen claramente aquellos puntos que se encuentran en la zona de impacto del muro, ya que su desplazamiento se frena bruscamente e incluso es negativo.
- La figura 5.12 muestra el desplazamiento de diversos componentes de la carrocería. Los efectos mostrados son equivalentes a los anteriores.



**Figura 5.8: PUNTOS DEL CHASIS ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA**



**Figura 5.9: PUNTOS DE LA CARROCERÍA ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO DE LA DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA**



**Figura 5.10: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)**





## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

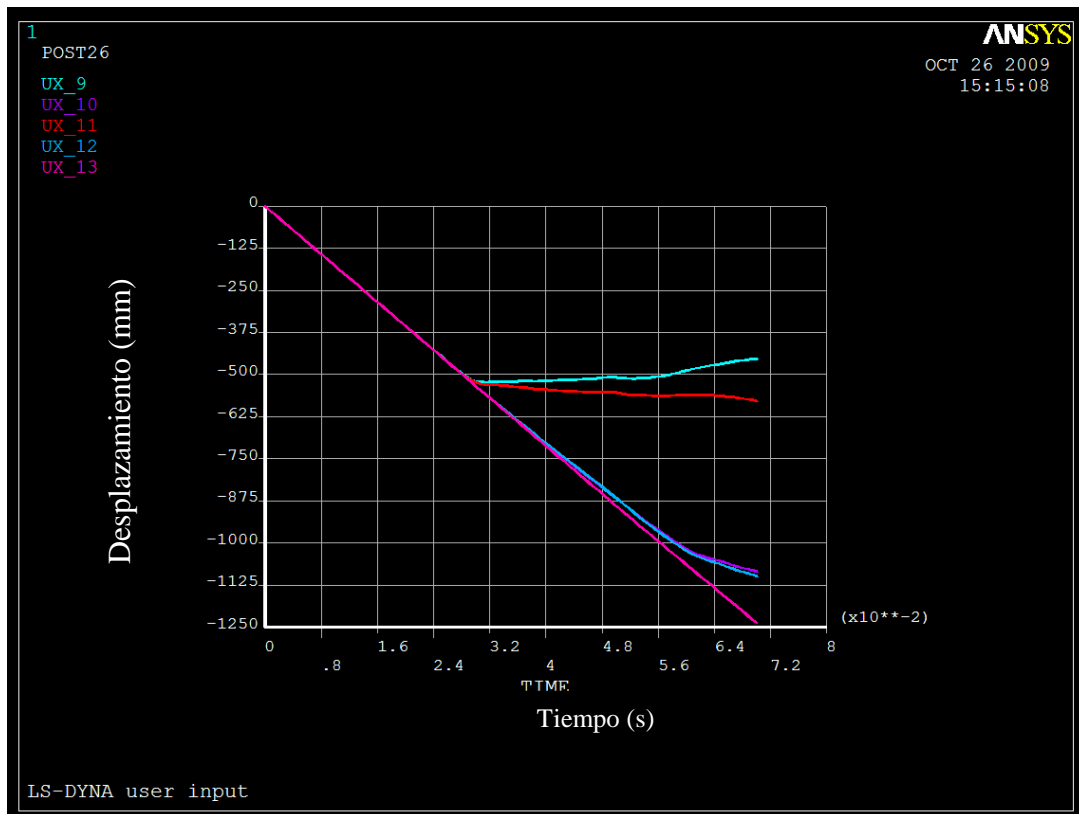


Figura 5.11: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)

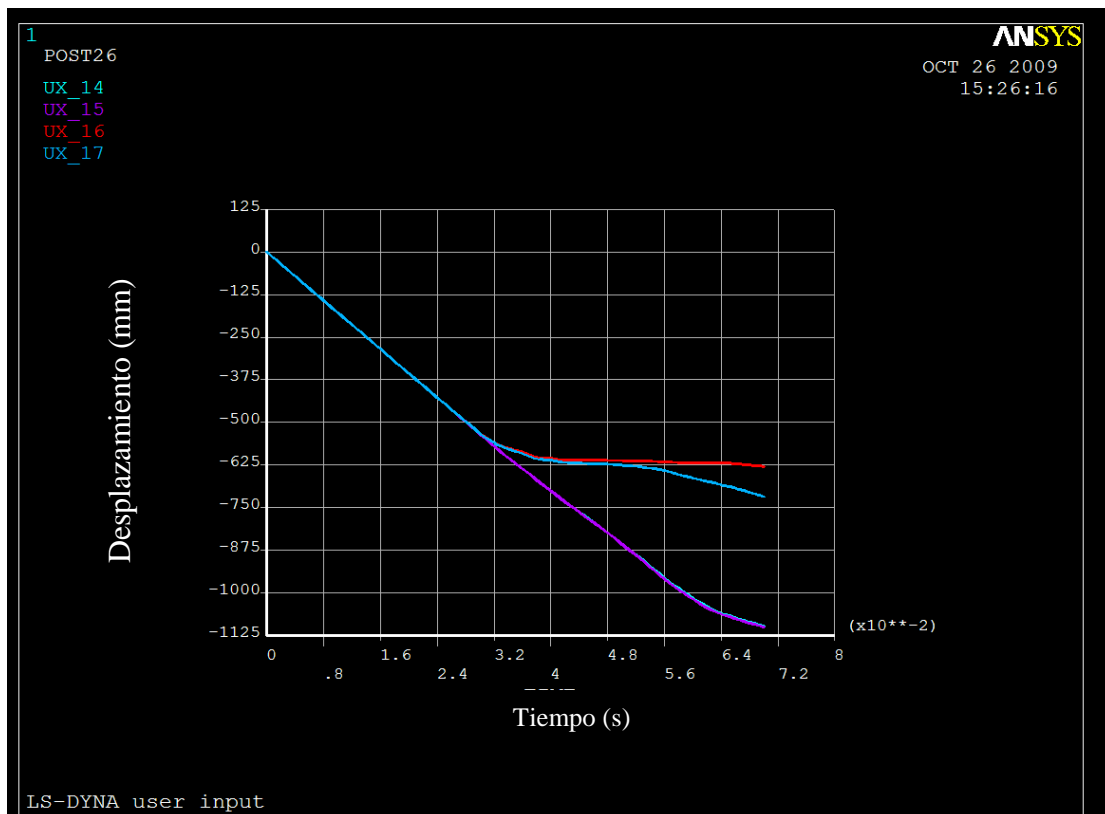


Figura 5.12: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)



## CAPÍTULO 5: RESULTADOS



Tras verificar el desplazamiento de dichos puntos en la dirección del eje X se va a hacer un estudio similar para la dirección del eje Y. Para llevar a cabo este estudio se van a usar varios puntos de los utilizados anteriormente (figura 5.13). Este desplazamiento lateral es consecuencia de la posición relativa entre el muro y el coche. En futuras configuraciones este desplazamiento variará en función del grado de solape (en la configuración centrada debería ser prácticamente nulo).

- La figura 5.13 muestra el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Y. Se puede observar que el desplazamiento es nulo hasta el momento de la colisión, a partir del cuál, cada punto se desplaza en función de la posición del mismo y de la deformación que experimenta. El inicio del desplazamiento de cada punto no es común. El punto número 13 es el punto más alejado de la zona de impacto, por lo que es el último punto en experimentar el desplazamiento lateral.

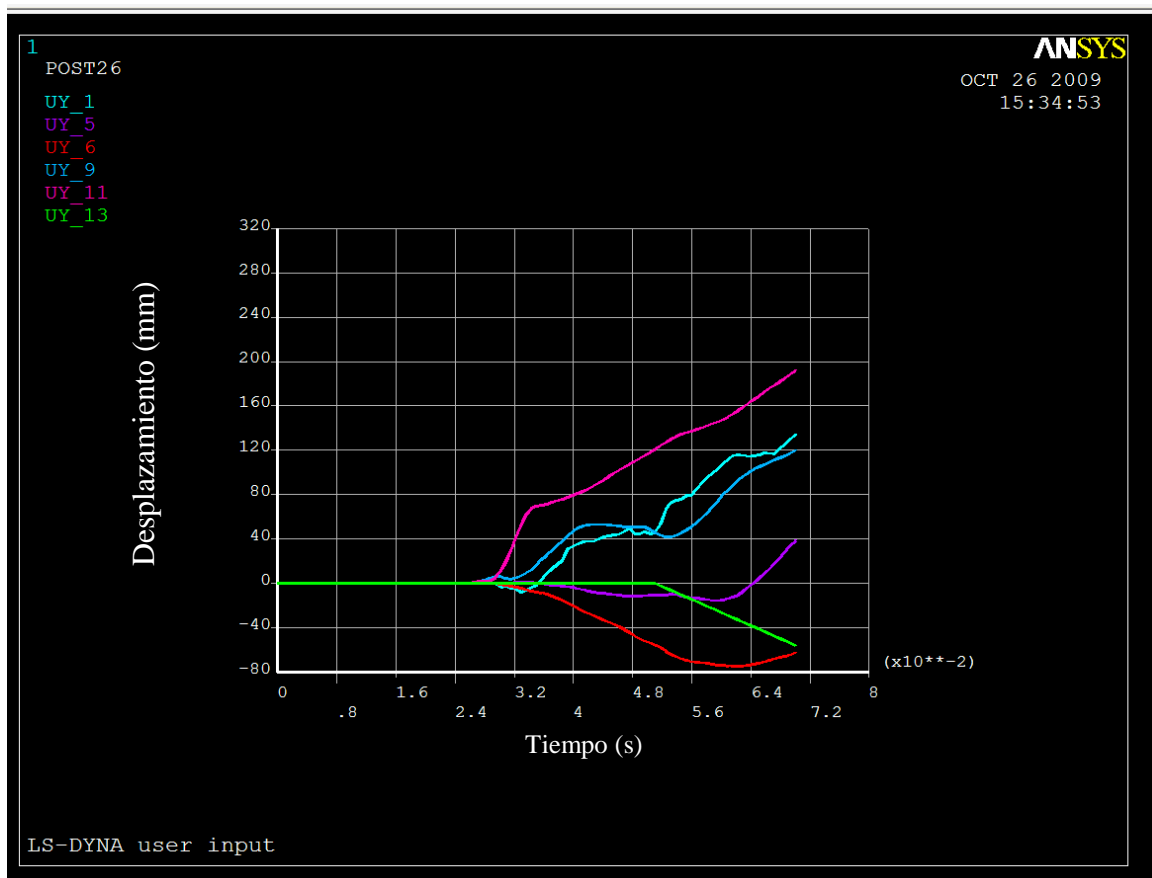
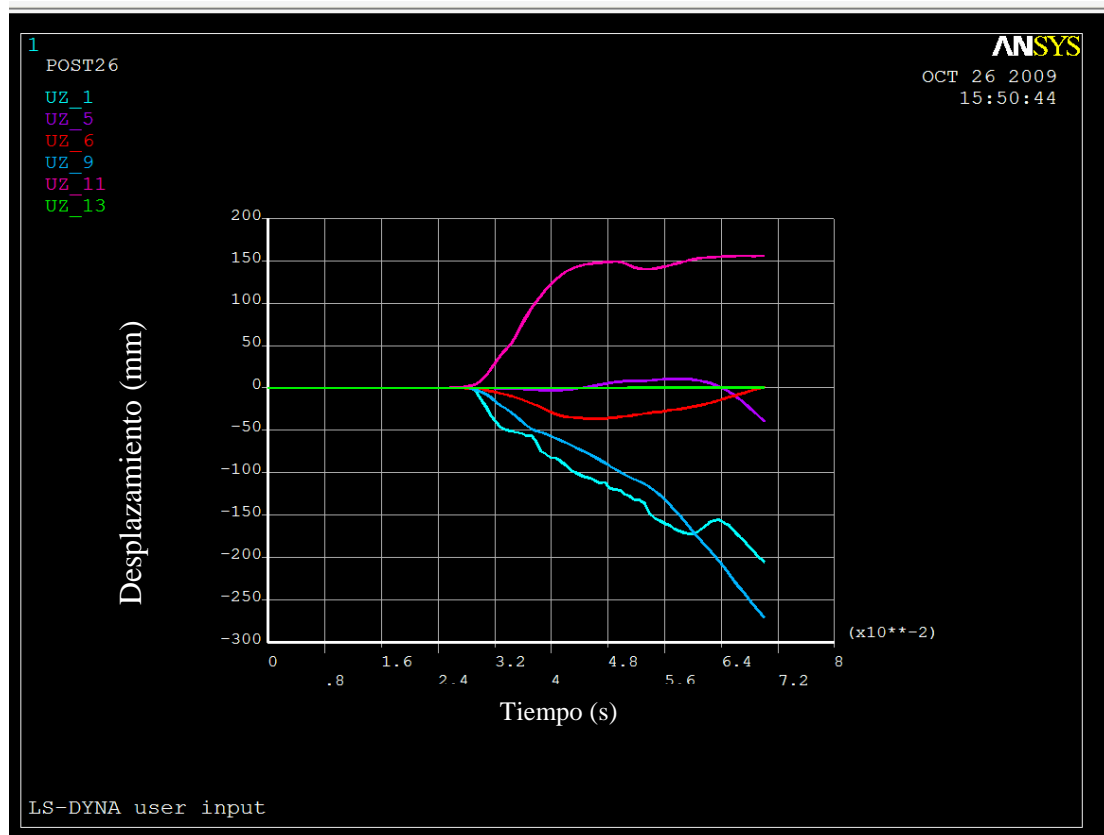


Figura 5.13: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Y (mm) VS TIEMPO (s)

- En la figura 5.14 se representa el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Z. La zona trasera del vehículo tiene restringido el desplazamiento en el eje Z como demuestra el valor cero del desplazamiento en el punto 13. Aquellos puntos relativamente alejados de la zona de impacto tenderán a desplazarse ligeramente debido a las pequeñas deformaciones que puedan sufrir, mientras que los elevados desplazamientos que muestran otros puntos son debidos a las elevadas deformaciones que sufren a consecuencia del impacto (puntos 1, 9 y 11).



**Figura 5.14: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Z (mm) VS TIEMPO (s)**

El siguiente paso consiste en estudiar las velocidades de los puntos de la estructura del vehículo utilizados anteriormente. A continuación se mostrarán distintas gráficas que representan las funciones que definen el vector velocidad lineal en distintas direcciones:



## CAPÍTULO 5: RESULTADOS



- La figura 5.15 muestra la variación de la velocidad de diferentes puntos situados en la carrocería del vehículo. En la gráfica se ve como todos los puntos se encuentran a la misma velocidad inicial y en el momento del impacto sufren variaciones de velocidad importantes, destacando los siguientes puntos:

Los puntos 1 y 2 son los que experimentan mayores variaciones de velocidad debido a que son los más cercanos al muro en el momento del impacto. Se puede observar que alcanzan velocidades positivas (en contra de la dirección de desplazamiento) debido a la fuerza del impacto (la deformación de la estructura hace que los puntos se desplacen en sentido contrario).

A medida que los nodos se encuentran más alejados de la zona de impacto la variación de velocidad es más lineal y progresiva debido a que no hay deformaciones tan elevadas de los elementos de la estructura.

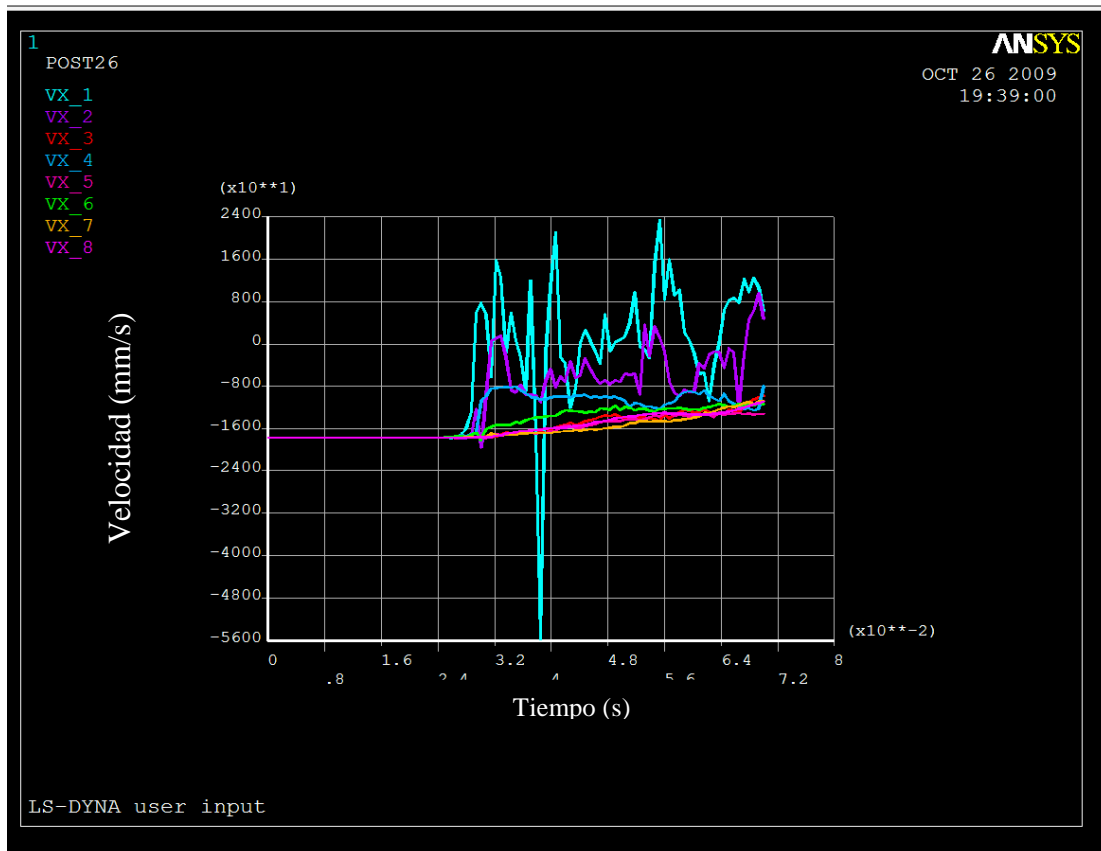


Figura 5.15: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)



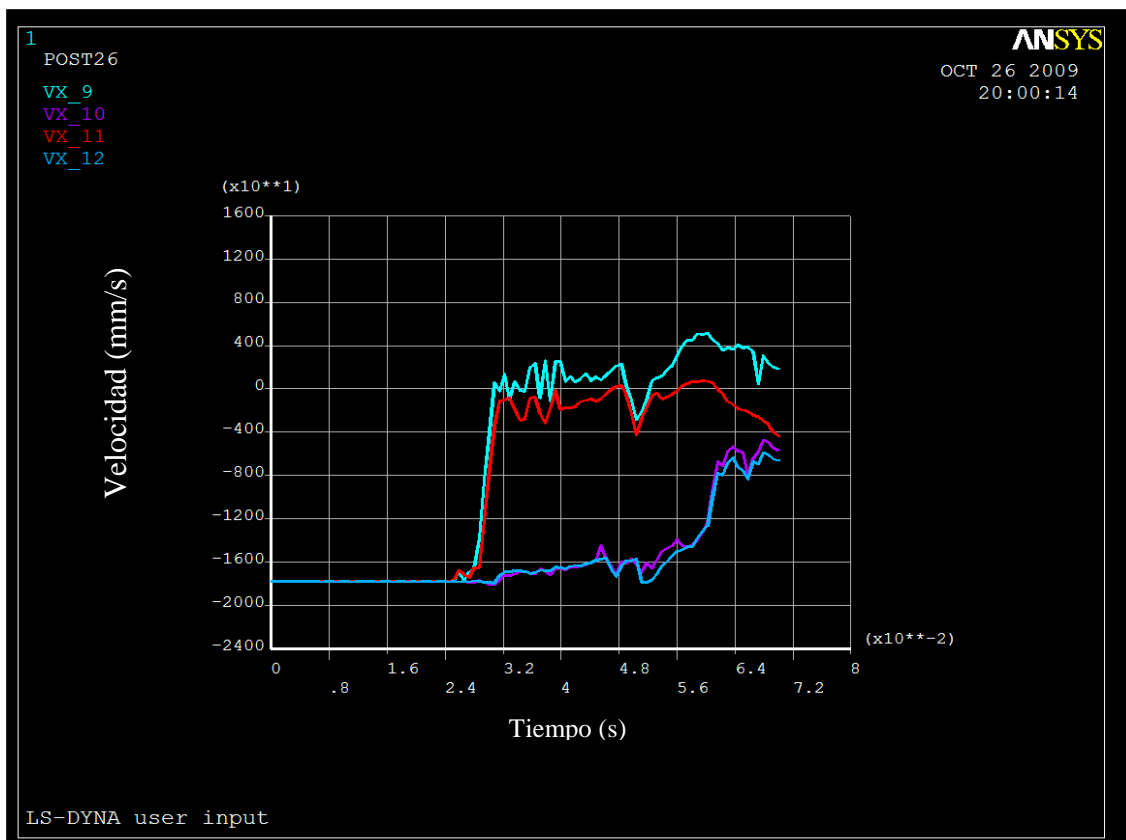
## CAPÍTULO 5: RESULTADOS



- En la figura 5.16 se muestra la variación de velocidad en la dirección del eje X de distintos puntos del chasis del vehículo.

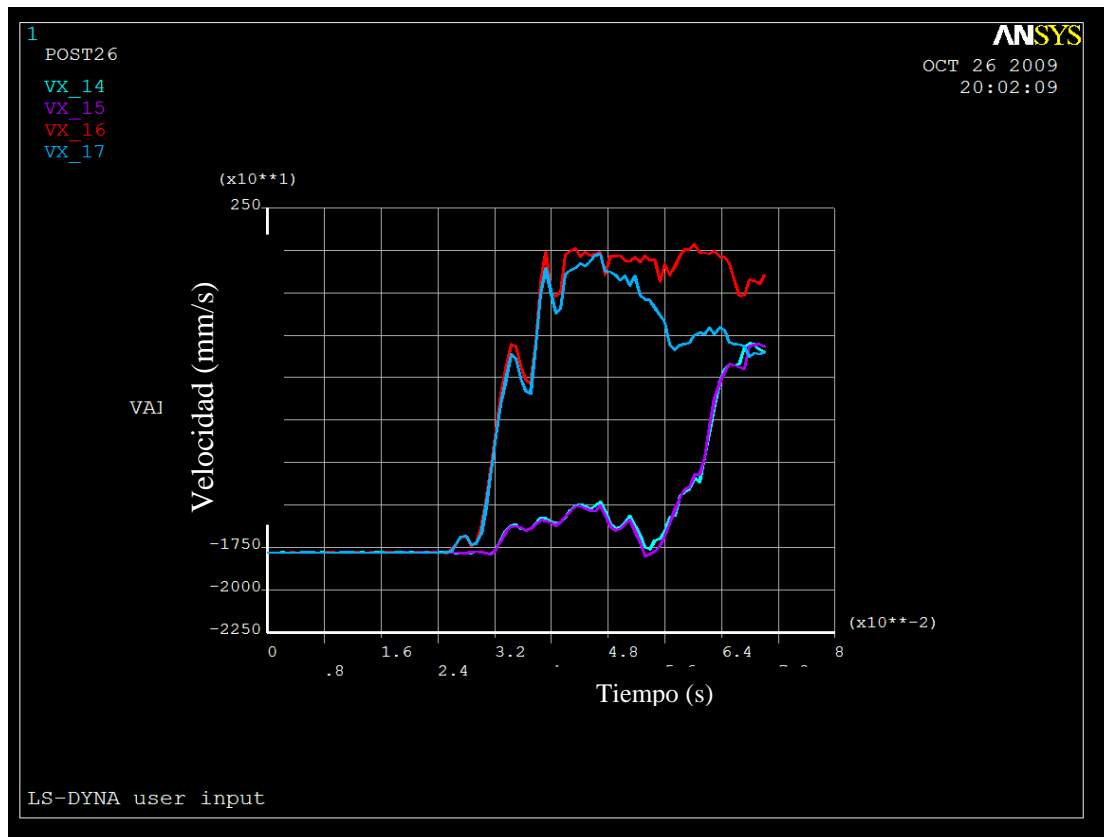
Los puntos 9 y 11 se encuentran situados en el larguero del chasis que impacta directamente contra el muro, por lo que experimentan la mayor variación de velocidad. Alcanzan valores positivos debido a la deformación de dicho larguero.

Los puntos 10 y 12 pertenecen al otro larguero del chasis, por lo que su cambio de velocidad es menos brusco que el experimentado por los nodos anteriores.



**Figura 5.16: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)**

- La figura 5.17 representa la variación de velocidad en la dirección del eje X de otros puntos de la carrocería del vehículo. Las funciones de velocidad se comportan exactamente igual que en los casos anteriores.



**Figura 5.17: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)**

- En la figura 5.18 se representa la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Y. Hasta el momento del choque la velocidad es nula y a partir del impacto aparecen velocidades en la dirección Y debido a la no simetría del impacto.

Los puntos 1,4 y 11 muestran una gran variación en la velocidad debido a las grandes deformaciones que se originan en dichos puntos. El resto de puntos, a medida que se encuentran más alejados de la zona de impacto, sufren variaciones menores que son debidas al desplazamiento en el eje Y del vehículo por el impacto.

- La figura 5.19 muestra la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Z. Las velocidades que aparecen en esta dirección son consecuencia de las deformaciones que se producen en la estructura del vehículo.



## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

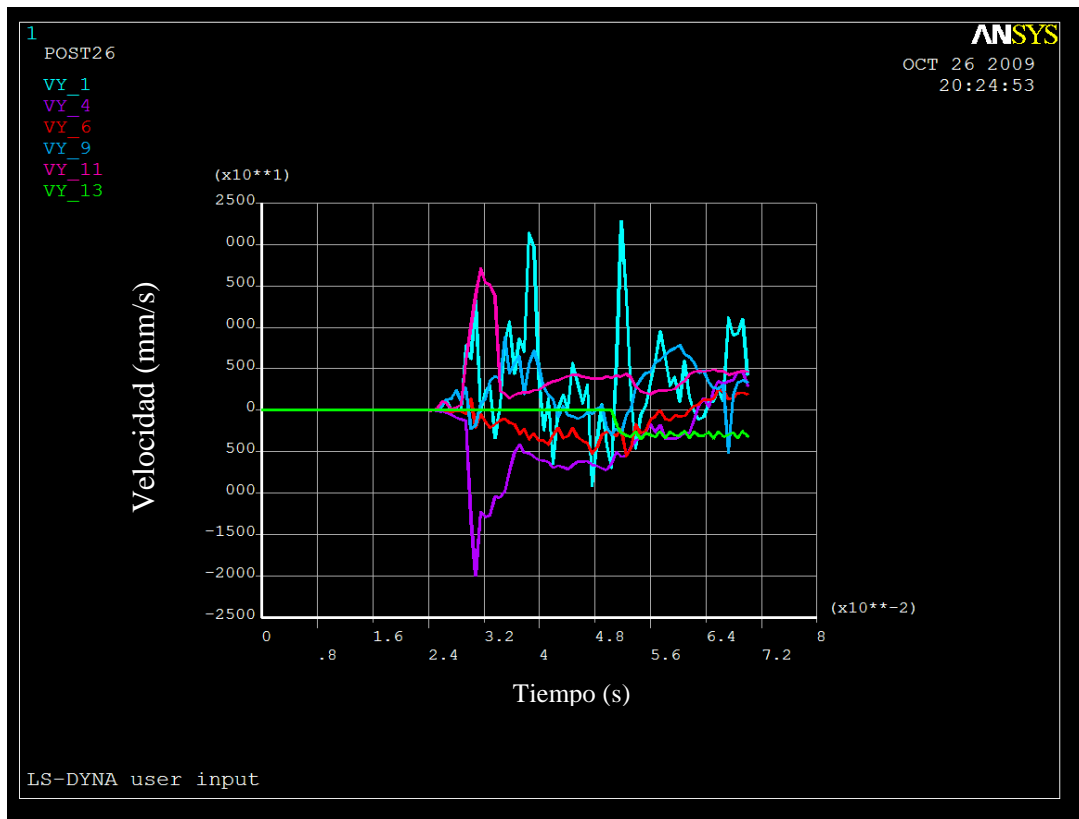


Figura 5.18: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) VS TIEMPO (s)

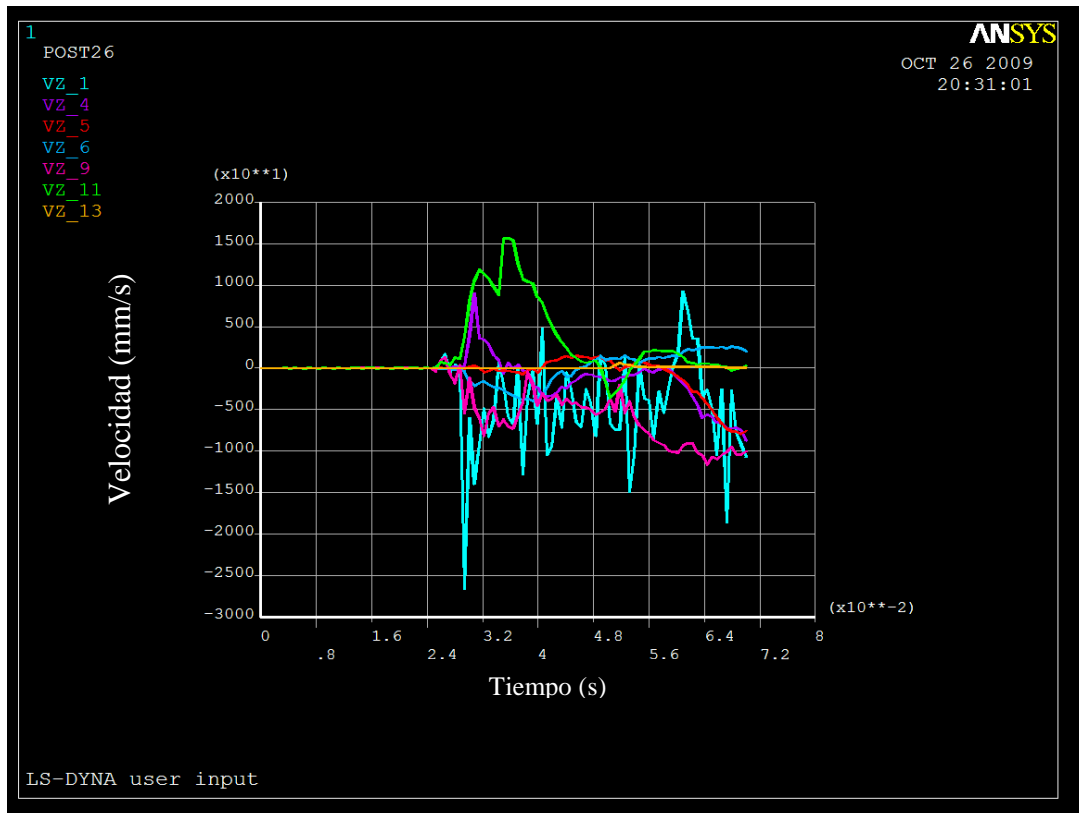
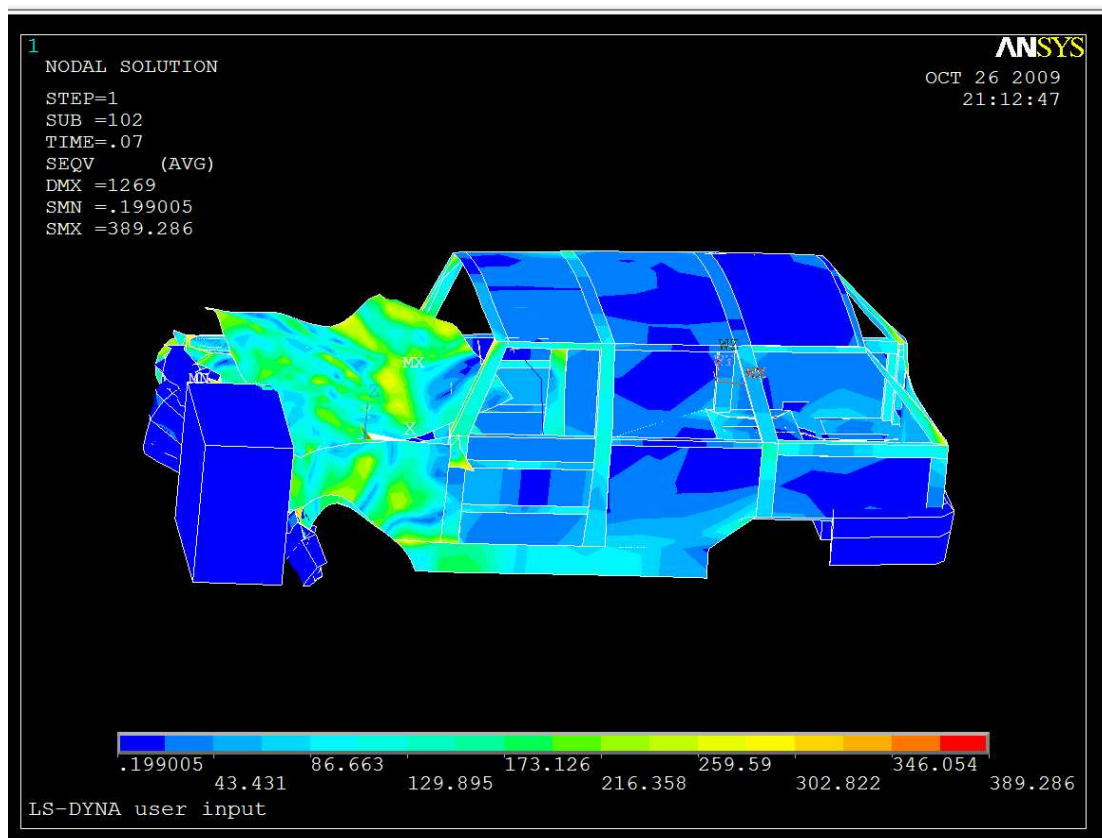


Figura 5.19: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) VS TIEMPO (s)

Una figura que permite ver de forma visual las tensiones que se ve obligado a soportar el vehículo a consecuencia del choque se muestra mediante la figura 5.20. La figura representa la tensión equivalente de Von Mises para un tiempo de 0.07 segundos. Si el tiempo de simulación hubiese sido mayor se habrían obtenidos valores mucho más elevados. Las tensiones alcanzadas son muy altas para haberse alcanzado en tan sólo 0.07 segundos, lo que denota la violencia del impacto.



**Figura 5.20: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO (MPa)**

Por último se incluye una tabla en la que se resumen los valores más representativos de esta configuración:

<b>TENSIÓN MÁXIMA</b>	389,29 MPa
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Y</b>	200 mm
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Z</b>	- 275 mm
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE X</b>	21725 $\frac{mm}{s}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	5000 $\frac{mm}{s}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	5000 $\frac{mm}{s}$

**Tabla 5.1: TABLA RESUMEN CONFIGURACIÓN PROTOCOLO EURONCAP**





### 5.2.2 Configuración de impacto 40 % del área frontal en el lateral del acompañante

Esta configuración es completamente análoga a la anterior con la diferencia de que la zona de impacto se encuentra situada en el lateral del acompañante. A priori los resultados de esta configuración van a ser completamente equivalentes a los del test EuroNCAP para el vehículo, pero si es muy importante para el estudio de las deceleraciones que sufre la cabeza del conductor, tal y como se estudiará en apartados posteriores utilizando un nodo de la estructura.

En el anexo I se ha llevado a cabo un estudio completamente análogo al efectuado en el apartado 5.2.1. A continuación se muestra un resumen de los valores más representativos de esta configuración:

<b>TENSIÓN MÁXIMA</b>	400,09 MPa
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Y</b>	220 mm
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Z</b>	- 300 mm
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE X</b>	21725 $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	5000 $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	5000 $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$

Tabla 5.2: TABLA RESUMEN 40 % ÁREA FRONTAL EN EL LATERAL DEL ACOMPAÑANTE

### 5.2.3 Configuración de impacto centrado

En esta configuración se ha situado el muro centrado con respecto al vehículo. A continuación se incluye una tabla resumiendo los valores más importantes (el estudio completo se incluye en el anexo I).

<b>TENSIÓN MÁXIMA</b>	336,347 MPa
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Y</b>	220 mm
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Z</b>	240 mm
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE X</b>	12725 $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	3500 $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	5000 $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$

Tabla 5.3: TABLA RESUMEN CONFIGURACIÓN IMPACTO CENTRADO



### 5.2.4 Configuración de impacto 20 % área frontal en el lateral del conductor

En esta configuración el muro se encuentra situado en el lateral del acompañante, ocupando un 20 % del área lateral frontal del vehículo todo terreno. En la tabla siguiente se incluye un resumen de los valores más representativos del estudio. El estudio completo se encuentra en el anexo I.

<b>TENSIÓN MÁXIMA</b>	408,069 MPa
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Y</b>	155 mm
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Z</b>	200 mm
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE X</b>	9500 $\text{mm/s}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	5000 $\text{mm/s}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	4000 $\text{mm/s}$

Tabla 5.4: TABLA RESUMEN 20 % ÁREA FRONTAL EN EL LATERAL DEL CONDUCTOR

### 5.2.5 Configuración de impacto 20 % área frontal en el lateral del acompañante

Esta última configuración es completamente análoga a la anterior, situando el muro en el lateral del acompañante.

<b>TENSIÓN MÁXIMA</b>	404,41 MPa
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Y</b>	240 mm
<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EJE Z</b>	80 mm
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE X</b>	21725 $\text{mm/s}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	9500 $\text{mm/s}$
<b>VARIACIÓN VELOCIDAD MEDIA EJE Z</b>	4000 $\text{mm/s}$

Tabla 5.5: TABLA RESUMEN 20 % ÁREA FRONTAL EN EL LATERAL DEL ACOMPAÑANTE



### 5.2.6 Comparativa entre las diferentes configuraciones

En este apartado se va a llevar a cabo una comparativa entre las tres configuraciones principales (impacto 40 % área frontal, impacto centrado e impacto 20 % área frontal) de este proyecto. A la hora de equiparar los efectos del choque en el vehículo, únicamente será necesario estudiar dichas configuraciones vehículo – muro, ya que los resultados del choque en el lateral del acompañante serán iguales a los obtenidos en el lado del conductor. A continuación se va a analizar la deformación, la variación de velocidad y las tensiones que experimenta la estructura del vehículo.

#### ▪ Deformaciones de la estructura del vehículo

Un factor determinante en el estudio de la configuración es el tiempo de simulación, siendo dicho parámetro igual a 0.07 segundos. Al restringirse esta variable a un valor tan bajo y tras llevar a cabo un estudio similar al efectuado para velocidades y desplazamientos, se comprobó que las deformaciones experimentadas por la estructura del vehículo para cada una de las configuraciones es muy similar.

Por tanto, la deformación de la estructura no se puede tomar como factor determinante para el estudio de la configuración más desfavorable. Para poder utilizar este parámetro se debería haber continuado la simulación hasta completar el ensayo de impacto.

#### ▪ Variación de la velocidad de la estructura del vehículo

El siguiente apartado a analizar es la variación de velocidad del vehículo a causa del impacto. Para ello se ha medido la máxima variación y la variación media de la velocidad de diferentes puntos del vehículo. A continuación se muestra una tabla resumen de las variaciones de velocidad:

	<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>	<b>Eje Z</b>	
<b>Variación media (mm/s)</b>	21725	5000	5000	<b>Configuración 40 % área frontal</b>
<b>Variación máxima (mm/s)</b>	33777,78	25000	25000	
<b>Variación media (mm/s)</b>	12725	3500	5000	<b>Configuración centrada</b>
<b>Variación máxima (mm/s)</b>	38000	16500	20000	
<b>Variación media (mm/s)</b>	9500	5000	4000	<b>Configuración 20 % área frontal</b>
<b>Variación máxima (mm/s)</b>	27777,78	20277,78	28000	

Tabla 5.6: RESUMEN VARIACIÓN DE VELOCIDADES



## CAPÍTULO 5: RESULTADOS



El cálculo de estos parámetros se lleva a cabo de forma puntual, lo cual, unido a las deformaciones experimentadas por el vehículo hace que los valores obtenidos sean más elevados de lo normal.

Con los datos disponibles hasta el momento, se puede ver que la configuración mas adversa es la utilizada en el ensayo EuroNCAP. En el apartado siguiente se empleará otro criterio para verificar si efectivamente ésta es la configuración más desfavorable.

### ▪ Tensiones en la estructura del vehículo

El último aspecto es la tensión que experimenta la estructura del vehículo. A continuación se muestra una tabla en la que se incluye el valor máximo para cada una de las configuraciones.

	Configuración 40 % área frontal	Configuración centrada	Configuración 20 % área frontal
<b>Tensión máxima (MPa)</b>	389,26	336,347	408,59
<b>Tensión mínima (MPa)</b>	0,199	0,0000825	0,0000585

**Tabla 5.7: RESUMEN TENSIONES**

### 5.3 ANÁLISIS DE VELOCIDADES Y ACELERACIONES EN LA CABEZA DEL CONDUCTOR

Uno de los factores más importantes a la hora de evaluar los daños que puede sufrir una persona en caso de accidente es la aceleración experimentada por la cabeza en el momento del impacto. Para llevar a cabo este estudio se va a utilizar la teoría llamada HIC (Head Injury Criterion).

El HIC se utiliza para la evaluación del daño sufrido por la cabeza en caso de accidente. El cálculo de dicho coeficiente se lleva a cabo a través de la siguiente expresión:

$$HIC = \left[ \frac{\int_{T_1}^{T_2} a(t) \cdot dt}{T_2 - T_1} \right]^{2.5} \cdot (T_2 - T_1)$$

donde:

HIC: índice que evalúa el daño en la cabeza

$a(t)$ : expresión de la variación de la aceleración de la cabeza

$t_1$ : tiempo en el que se produce el impacto

$t_2$ :  $t_1 + 0,015$  segundos

Los valores límite de HIC se han convertido en un debate permanente debido a que existen diferentes tendencias que fijan diferentes valores. En la figura 5.67 se muestra una curva de riesgo de lesiones.

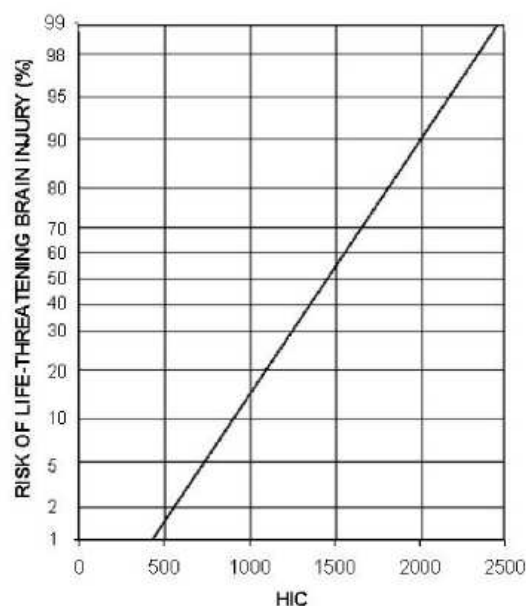


Figura 5.21: CURVA DE RIESGO DE LESIONES



Un valor comúnmente aceptado como límite para el HIC es 1000, para el cuál se establece una probabilidad del 18 % de padecer lesiones mortales de cabeza. Según la curva mostrada un valor para el HIC de 1400 implica una probabilidad del 50 % de sufrir lesiones mortales.

El cálculo del HIC se realiza únicamente a partir de las aceleraciones longitudinales experimentadas en la cabeza en el momento del impacto. A pesar de las limitaciones que presenta este criterio de evaluación sigue siendo uno de los métodos más usados para la estimación de los daños experimentados por la cabeza del conductor y por eso se ha seleccionado para llevar a cabo dicho estudio.

El cálculo de las aceleraciones longitudinales se ha llevado a cabo mediante el cálculo de las aceleraciones de un nodo situado aproximadamente en una posición similar a la que ocuparía la cabeza del conductor en el momento del impacto.

A continuación se muestra la aceleración longitudinal experimentada por el nodo seleccionado en cada una de las configuraciones:

### ▪ **Configuración test EuroNCAP**

Una vez definidas las variables que se requieren para el cálculo del HIC se pasa a calcular dichos parámetros:

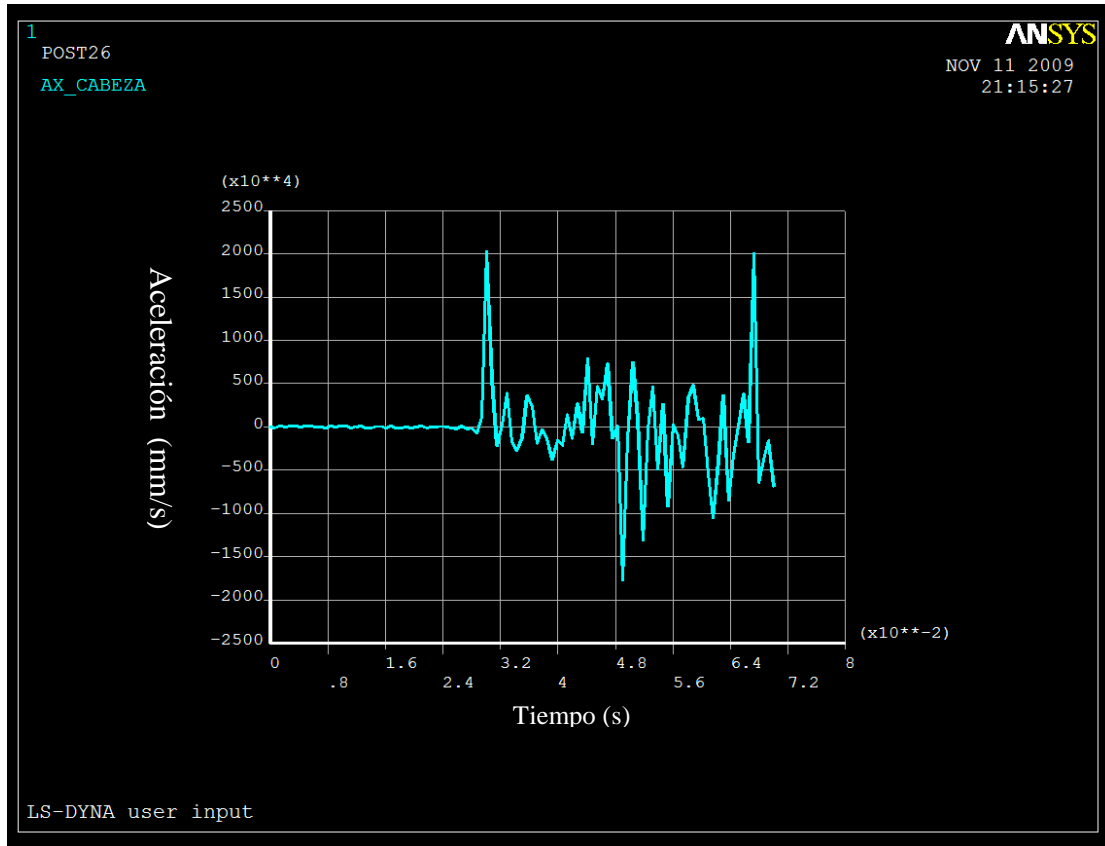
- $t_1 = 0,0294$  segundos
- $t_2 = 0,0434$  segundos

El cálculo de  $a(t)$  se llevará a cabo a partir de la gráfica (figura 5.21) que representa la variación de la aceleración con el tiempo en un punto de la estructura situado en una posición similar a la que tendría la cabeza en el momento del impacto. A partir de esta gráfica se genera una función que aproxime lo más posible la aceleración en dicho nodo. La expresión de la función es la siguiente:

$$a(t) = 4.943 \cdot t^3 - 161,89 \cdot t^2 + 1137,4 \cdot t + 246,2$$

Una vez aproximada la función aceleración, el siguiente paso consiste en calcular la integral de la función y evaluar la expresión del HIC.

$$HIC = \left[ \frac{\int_{T_1}^{T_2} a(t) \cdot dt}{T_2 - T_1} \right]^{2.5} \cdot (T_2 - T_1) = 17637.14$$



**Figura 5.22: Aceleración vs tiempo**

El resultado obtenido es muy superior al valor límite que establece el HIC (HIC=1000). Esto es a consecuencia de que el nodo seleccionado pertenece a la estructura del vehículo por lo que experimenta mayor deceleración que la que sufriría la cabeza del conductor. A pesar de que el valor sea muy elevado, se va a utilizar como referencia para estudiar cual de las configuraciones es más agresiva para el conductor.

## ▪ Configuración de impacto 40 % del área frontal en el lateral del acompañante

El método de análisis va a ser exactamente igual al anterior, únicamente cambiando la función de tendencia de la aceleración. En este caso la función tiene la siguiente expresión:

$$a(t) = 352.62 \cdot t^3 - 4027.2 \cdot t^2 + 13386 \cdot t - 289.36$$

Aplicando la expresión del HIC se obtiene:

$$HIC = \left[ \frac{\int_{T_1}^{T_2} a(t) \cdot dt}{T_2 - T_1} \right]^{2.5} \cdot (T_2 - T_1) = 6490.76$$

Al igual que en el caso anterior el valor es demasiado elevado pero sí es considerablemente menor al obtenido en el apartado anterior.

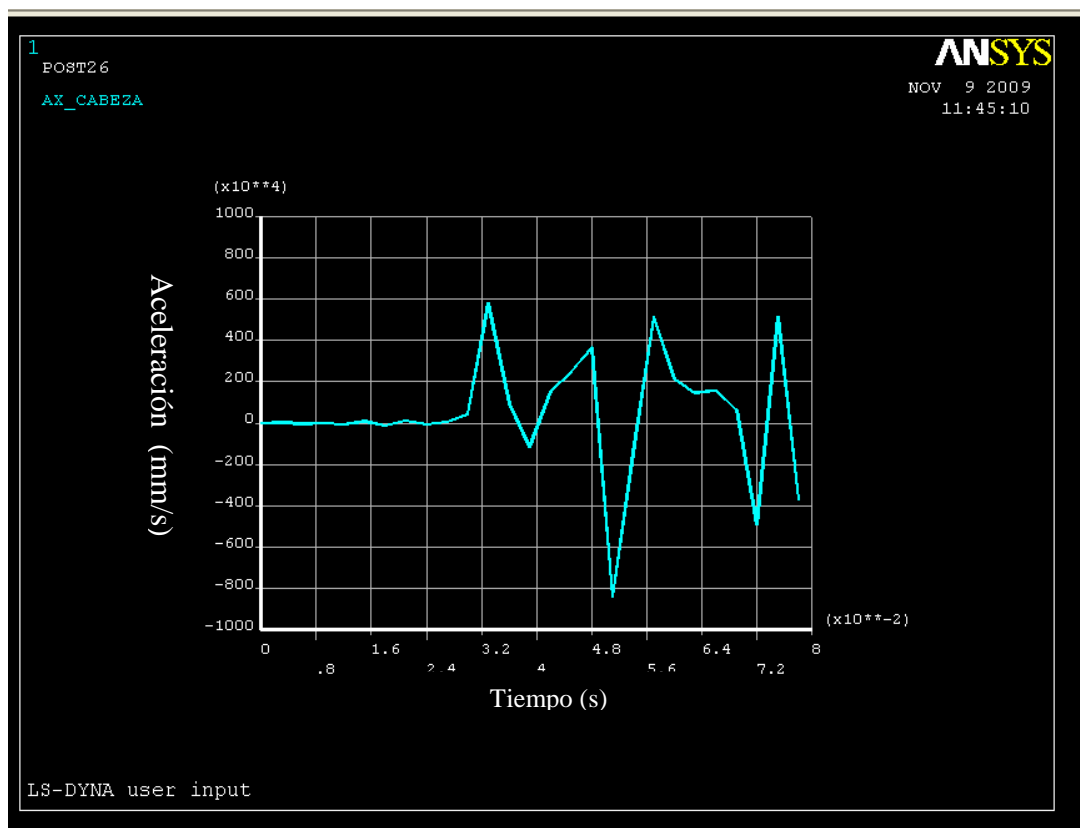


Figura 5.23: Aceleración vs tiempo

## ▪ Configuración de impacto centrado

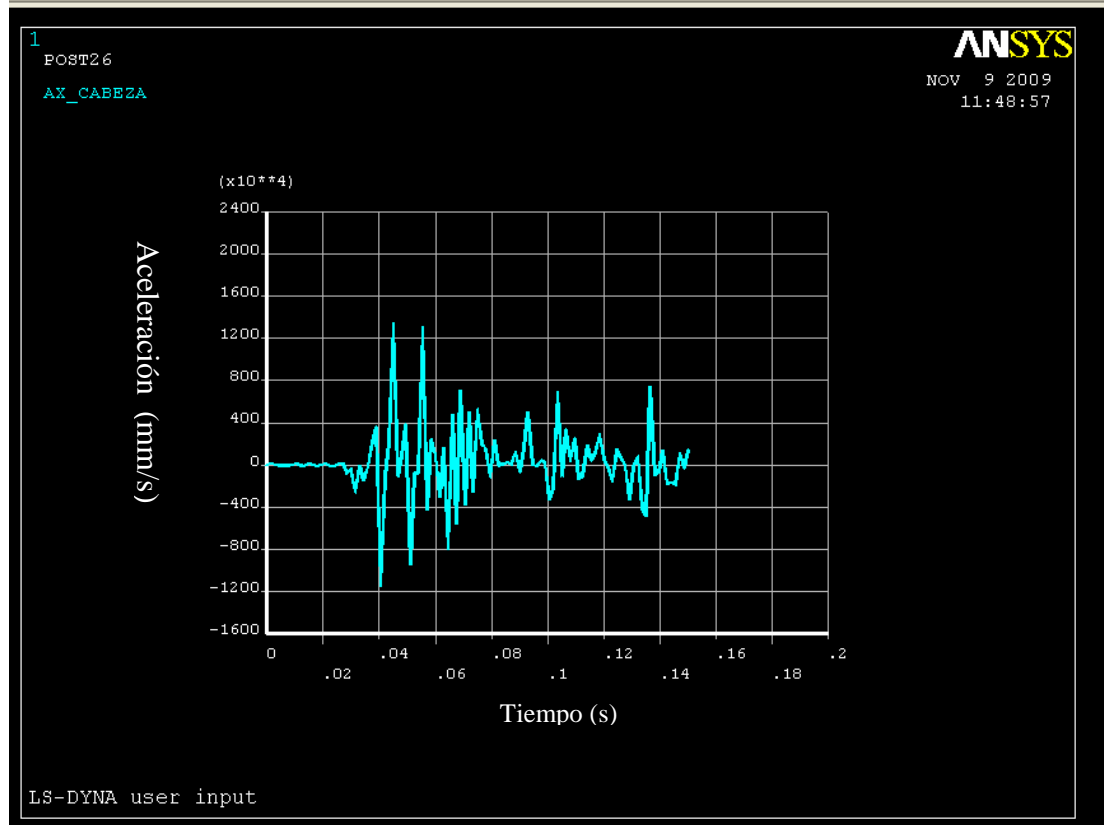
La función de la aceleración para esta configuración viene marcada por la siguiente expresión:

$$a(t) = 29,123t^4 - 669,54t^3 + 5032,1t^2 - 13798t + 706.23$$

Tras aplicar la expresión del HIC se obtiene:



$$HIC = \left[ \frac{\int_{T_1}^{T_2} a(t) \cdot dt}{T_2 - T_1} \right]^{2.5} \cdot (T_2 - T_1) = 7808.30$$



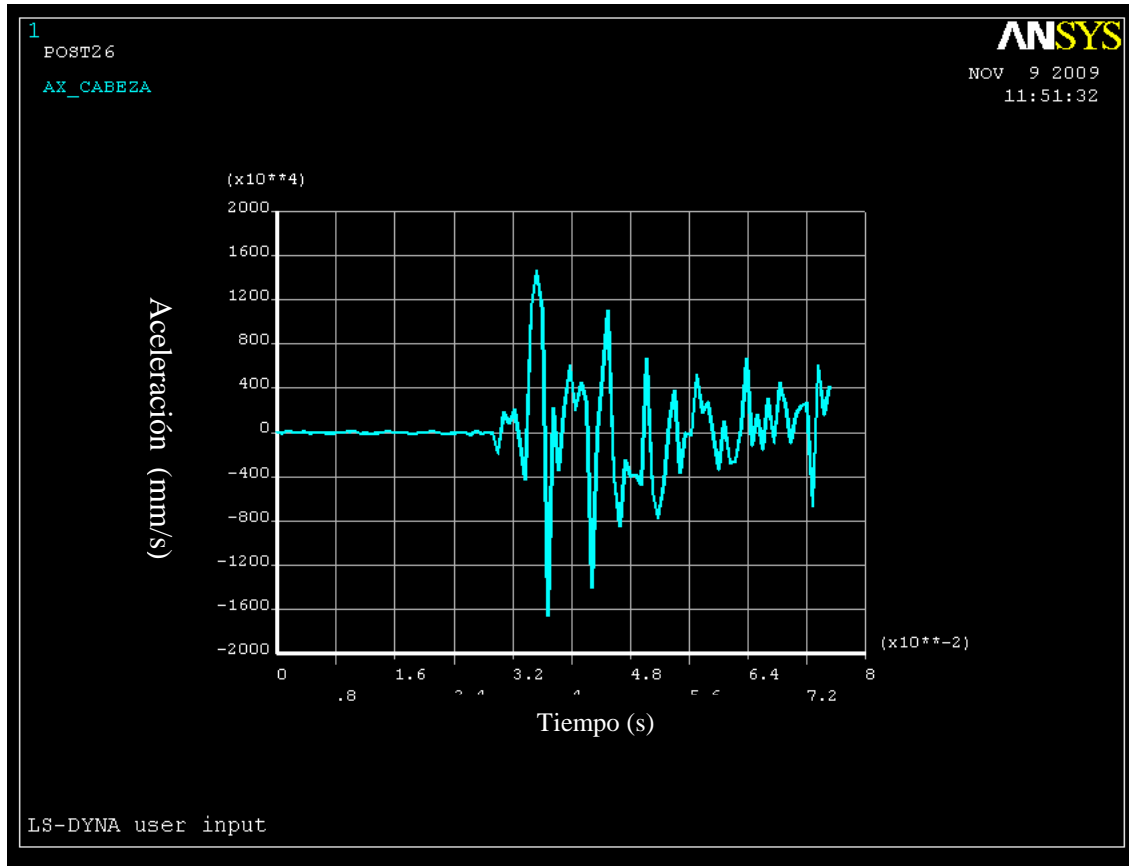
**Figura 5.24: Aceleración vs tiempo**

- **Configuración de impacto 20 % del área frontal en el lateral del conductor**

Al igual que en los apartados anteriores se parte de la función que define la aceleración para posteriormente calcular el valor del HIC para esta configuración:

$$a(t) = -0,2703t^5 + 13,802t^4 - 252,46t^3 + 1925,4t^2 - 5142,5t + 337,6$$

$$HIC = \left[ \frac{\int_{T_1}^{T_2} a(t) \cdot dt}{T_2 - T_1} \right]^{2.5} \cdot (T_2 - T_1) = 3654.18$$



**Figura 5.25: Aceleración vs tiempo**

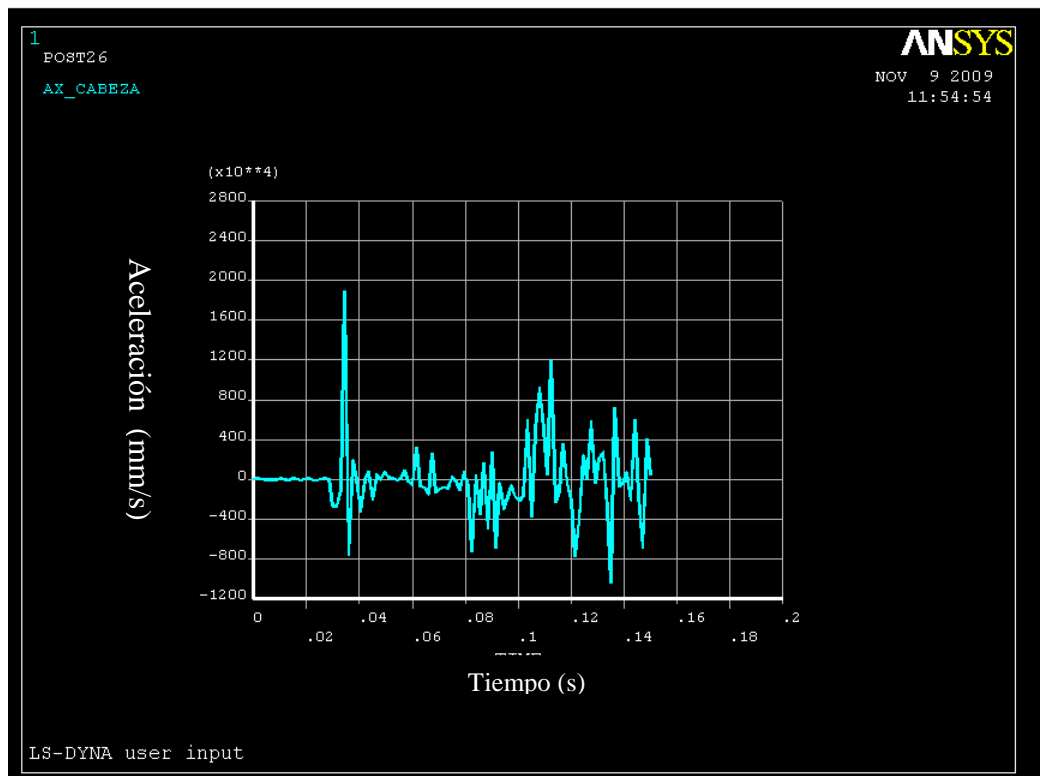
- **Configuración de impacto 20 % del área frontal en el lateral del acompañante**

La expresión de la aceleración viene marcada por la siguiente ecuación:

$$a(t) = 7,726t^4 - 235,66t^3 + 2333,9t^2 - 8149,2t + 440.23$$

Aplicando la expresión del HIC se obtiene:

$$HIC = \left[ \frac{\int_{T_1}^{T_2} a(t) \cdot dt}{T_2 - T_1} \right]^{2.5} \cdot (T_2 - T_1) = 3145.05$$



**Figura 5.26: Aceleración vs tiempo**

Una vez recopilados los valores del HIC para las distintas configuraciones se va a incluir una tabla en la que se recogen los resultados y así poder interpretar de un forma más clara la configuración que sería más severa ante un posible impacto

CONFIGURACIÓN	HIC
Test EuroNCAP	17637,14
40 % lateral acompañante	6490,76
Impacto centrado	7808,70
20 % lateral conductor	3654,18
20 % lateral acompañante	3146,05

**Tabla 5.8: Resumen de valores del HIC**

A la vista de estos resultados se puede ver claramente que la configuración más agresiva siguiendo este método es la utilizado en el protocolo EuroNCAP.

Los valores obtenidos, tal y como se ha comentado anteriormente, se encuentran muy por encima de los límites que establece el HIC. Estos resultados tan elevados son consecuencia del



## CAPÍTULO 5: RESULTADOS

---



uso para los cálculos un material que pertenece a la propia estructura del vehículo y a la falta de información respecto a la caracterización de los materiales y la geometría del todoterreno.

Otro aspecto a tener en cuenta es la diferencia tan elevada que existe entre la configuración EuroNCAP y la análoga con el muro en el lateral del acompañante. Para el cálculo de HIC se emplea la función de la aceleración y se aplica a un periodo temporal muy reducido, por lo que pequeñas variaciones en dicha ecuación para este periodo unido al efecto amplificador comentado en el párrafo anterior, hace que esta variación del HIC sea admisible. Un último apunte importante para la

## ***CAPÍTULO VI:***

## ***CONCLUSIONES***



### 6.1 CONCLUSIONES

Al inicio del proyecto se estableció como objetivo la creación y el posterior estudio de un modelo matemático, basado en el método de los elementos finitos, de la estructura de un vehículo todoterreno y el entorno necesario para la simulación de un crash test según las directrices marcadas por la EuroNCAP.

El diseño del modelo se ha llevado a cabo mediante el programa Solid Edge y posteriormente se adaptó al programa ANSYS, el cual cuenta con todos los factores para la adecuación de un modelo de elementos finitos.

Los cálculos necesarios para la solución del problema se han llevado a cabo mediante el procesador LS-DYNA, mediante el cual se han calculado todos los movimientos del vehículo durante los diferentes ensayos efectuados.

Una vez obtenidos los resultados de los diversos ensayos se han creado diferentes gráficas y diagramas tensionales para la comprensión de los ensayos.

Las gráficas obtenidas representan los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de diferentes elementos de la estructura del vehículo. Los diagramas tensionales muestran la distribución de tensiones experimentadas por los componentes del vehículo en el instante final de la simulación.

Tras el diseño y los estudios realizados se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En el presente proyecto se ha utilizado el Solid Edge para el diseño del modelo, ANSYS para la adaptación del modelo y LS-DYNA para la resolución del problema. Mediante la asociación de estas herramientas, y una vez solucionados los problemas de intercomunicación entre ellas, se consigue una buena solución de los problemas no-lineales explícitos. Llegados a este punto se puede afirmar que la utilización de la colaboración entre estos programas se convierte en una buena herramienta para la realización de este tipo de ensayos en los que se estudia la interacción y el impacto entre elementos.
- El análisis de las gráficas y los diagramas tensionales, demuestra claramente que la situación más adversa para el vehículo es la configuración del test EuroNCAP. Tal y como era de esperar, la



posición relativa empleada por el protocolo EuroNCAP es la que causa mayores deceleraciones y deformaciones en el vehículo.

- El HIC se ha utilizado como indicador de los daños que sufriría la cabeza del conductor en caso de impacto (tal y como se ha apuntado anteriormente se ha utilizado un nodo de la estructura situado en una zona cercana a la posición que ocuparía la cabeza en el momento del impacto). La configuración del test EuroNCAP ha sido la más agresiva de los ensayos simulados. Un aspecto importante a tener en cuenta es el hecho de que los valores calculados para el HIC han sido muy por encima de lo esperado y esto se debe a varias razones:
  - La selección de un nodo de la propia estructura del vehículo hace que los valores de deceleración longitudinal sean mayores a los que se vería sometida la cabeza del conductor.
  - Otra posible fuente de error se encuentra en la caracterización de los materiales de los diferentes elementos del vehículo, que por falta de información no ha sido todo lo precisa que debería haber sido.
  - Otro aspecto a tener en cuenta y que en cierta medida puede maximizar el error cometido al seleccionar un nodo de la estructura del vehículo, son las simplificaciones llevadas a cabo en la estructura de vehículo para poder efectuar la situación en un periodo de tiempo razonable.

Por tanto, se puede confirmar que es perfectamente viable el análisis de colisiones mediante modelos de elementos finitos. Las dificultades que han ido apareciendo durante la realización del proyecto serían perfectamente superables si se pudiese acceder a mayor cantidad de datos técnicos y se contase con equipos más potentes. En la actualidad se está orientando todo el estudio del diseño estructural de los vehículos hacia el estudio mediante programas de ordenador que hacen más rentable temporal y económicamente la producción de nuevos modelos de vehículos, los cuales contarán con mayor seguridad y comodidad en sus viajes.

Definitivamente se puede confirmar que se han alcanzado los objetivos establecidos al principio del proyecto, constatando que la configuración elegida por el protocolo EuroNCAP es la más adecuada para simular las condiciones más adversas que se pueden dar en caso de accidente.

***CAPÍTULO VII:***

***DESARROLLOS FUTUROS***





### 7.1 DESARROLLOS FUTUROS

Partiendo de los resultados obtenidos en el presente documento se podrán abordar otros proyectos futuros orientados al estudio del comportamiento de los vehículos en caso de accidente. Estos proyectos se podrían desarrollar teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Realización del mismo estudio del ensayo de impacto fronto lateral construyendo un modelo más detallado del todoterreno. De esta forma se conseguirían datos más cercanos a la realidad.
- Comparar el mismo modelo de vehículo con distintos materiales.
- Considerar la cabeza como una masa puntual para estudiar con más fiabilidad los posibles daños que pueda sufrir un conductor.
- Optimización del modelo de elementos finitos utilizando un mallado más fino para toda la estructura del vehículo. De esta forma se conseguirían resultados más fiables. Para ello sería necesario disponer de equipos informáticos más potentes para reducir el tiempo de simulación.
- Llevar a cabo la simulación de otros tipos de ensayo para el estudio del comportamiento de los vehículos en caso de accidente.
- Utilización de modelos de pasajeros para ver el comportamiento en caso de accidente.

***CAPÍTULO VIII:***

***BIBLIOGRAFÍA***



## CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA



- [1] Organización Mundial de la Salud. *Primera Semana Mundial de las Naciones Unidas sobre la Seguridad Vial: 23 – 27 abril de 2007. Manual para la organización de actividades*. [En línea]. Organización Panamericana de la Salud (ed.) [Washington DC, EUA]: Organización Mundial de la Salud, 2007 [Consulta: 1 septiembre 2009].  
Disponible en: <http://www.who.int/roadsafety/week/es/>
- [2] *Ibid.*
- [3] *Memoria 2008* [Madrid]: Asociación Española de la Carretera, 2009. 45 p.
- [4] LÓPEZ, Mercedes; “¿Son más seguros los todoterreno?”. *Tráfico y Seguridad Vial*. Dirección General de Tráfico, Servicio de Publicaciones. Nº 191 (Julio-Agosto 2008) p. 26-29.
- [5] *Íbid.*
- [6] *Íbid.*
- [7] Ver nota [3].
- [8] *Íbid.*
- [9] DOMENECH, Manuel. “El precursor de los todoterreno” [En línea]. *El Mundo del Siglo XXI*. 16 de abril de 2002.  
<http://www.elmundo.es/elmundomotor/2002/04/09/ocio/1018370928.html> [Consulta: 6 septiembre 2009].
- [10] GUTIÉRREZ, Diana et al. *Informe 4x4= - planeta*. Madrid: Ecologistas en Acción, 2007. 30 p.
- [11] *Íbid.*
- [12] Land Rover. *60 years*. [En línea]. [Consulta: 8 septiembre 2009]  
Disponible en:  
<http://www.landrover.es/es/es/about-us/heritage/heritage.htm>
- [13] PÉREZ, Yaiza. “Leyenda Todoterreno”. *Spend In*. Madrid. Diciembre 2006, p. 134-137.
- [14] Ver nota [12].
- [15] *Íbid.*
- [16] CIURÓ, Joaquín. *Historia del automóvil en España*. Barcelona: Ceac, 1970. 453 p. ISBN: 84-329-1301-4
- [17] *Íbid.*
- [18] *Íbid.*
- [19] *Íbid.*



## CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA



- [20] COURANT, R. "Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations", *Bulletin of American Mathematical Soc.*, Nueva York. 1943, Vol. 49, p. 1-43.
- [21] GALLEGO VÁZQUEZ, Eutiquio. "Simulación de empujes del material almacenado en silos con modelos de comportamiento del material no elásticos". Director: Francisco Florentino Ayuga Téllez. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de construcción y vías rurales, 2006.
- [22] CLOUGH, R. W. "*The finite element method in plane stress analysis*". 1960, J. Struct. Div., ASCE, Proc. 2<sup>nd</sup> conf. Electronic computation.
- [23] CARNICERO LÓPEZ, Alberto. *Introducción al método de elementos finitos*. [En línea]. Universidad Pontificia de Comillas – ICAI: Madrid. [Consulta: 4 abril 2009]. Disponible en: [http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/FFlexible/Introduccion\\_al\\_MEF.pdf](http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/FFlexible/Introduccion_al_MEF.pdf).
- [24] El Programa Euro NCAP. *Evidencias científicas MMV-2005*. [Zaragoza]: Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil (FITSA), 2005. 110 p. ISBN: 84-609-7734-X.
- [25] Íbid.
- [26] Íbid.
- [27] Íbid.
- [28] Íbid.
- [29] MENESES ALONSO, Jesús; ÁLVAREZ CALDAS, Carolina; RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, Santiago. *Introducción al Solid Edge*. MENESES ALONSO, J. (dir.) Madrid: Thomson, 2006. 295 p. ISBN: 84-973-2420-X.
- [30] Íbid.
- [31] PINILLOS GORDON, Asier. *Manual práctico de Solid Edge V. 18: El sistema modelador de sólidos más fácil de aprender y manejar*. Madrid: Servicios Informáticos DAT, 2006. 448 p. ISBN: 84-609-9489-9.
- [32] DÍAZ OTERO, Jul. *Modelado 3D con Solid Edge*. Madrid: Imprenta Gonmar, 2004. 173 p. ISBN: 84-607-9943-3.
- [33] *ANSYS User's manual version 8.0*. Swanson Anlysis System Inc. 2004 (Vol. I, II, III).
- [34] KOBAYASHI, S; OH S. I.; ALTAN, T. *Metal forming and the finite element method*. Oxford: Oxford University Press, 1989.
- [35] RAMIN, H; MAHMOOD, M; LARRY, B. "Parametric study of automotive composite bumper beams subject to low-velocity impacts". *Composite Structures*. 2005, num. 68, p. 419-427.



## CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

---



- [36]** *LS-Dyna Theoretical manual*. Livermore Software Technology Corp., 1998.
- [37]** *LS-Dyna keyword user's manual*. Livermore Software Technology Corp., 2007.

***CAPÍTULO IX:***

***ANEXOS***



### **ANEXO I: ESTUDIO DEL RESTO DE CONFIGURACIONES**

Tal y como se comentó en el apartado 5.2.2 a continuación se incluye el estudio completo del resto de las configuraciones seleccionada en este proyecto. Este análisis es completamente análogo al efectuado en el apartado dedicado a la configuración del protocolo EuroNCAP.

#### **I.1 Configuración de impacto 40 % del área frontal en el lateral del acompañante**

Esta configuración es completamente análoga a la utilizada en el protocolo EuroNCAP, con la diferencia de que la zona de impacto se encuentra situada en el lateral del acompañante. A priori los resultados de esta configuración van a ser completamente equivalentes a los del test EuroNCAP para el vehículo, pero si es muy importante para el estudio de las deceleraciones que sufre la cabeza del conductor, tal y como se estudiará en apartados posteriores utilizando un nodo de la estructura.

A continuación se va a llevar a cabo el mismo análisis que en el apartado anterior.

En las figuras I.1, I.2 y I.3 se encuentran representadas las funciones de la variación del vector desplazamiento en la componente X de cada punto seleccionado:

- En la figura I.1 se puede observar el desplazamiento de los puntos a lo largo del eje X. En esta configuración el punto 1, al no impactar directamente con el muro, la reducción de su desplazamiento es considerablemente menor que en la configuración anterior. El punto 2, debido a que se encuentra situado en la zona central, tiene un comportamiento muy similar en ambos casos. El punto 3 tiene un comportamiento similar al que tenía el punto 1 en el test EuroNCAP dado que ocupa una posición análoga.
- En la figura I.2 se puede observar el desplazamiento de diversos puntos del chasis en la dirección del eje X. De la misma forma que en la figura I.1 se distingue claramente aquellos puntos que encuentran en la zona de impacto del muro, ya que su desplazamiento se frena bruscamente e incluso retrocede.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS



- La figura I.3 muestra el desplazamiento de diversos componentes de la carrocería. Los efectos mostrados son equivalentes a los anteriores.

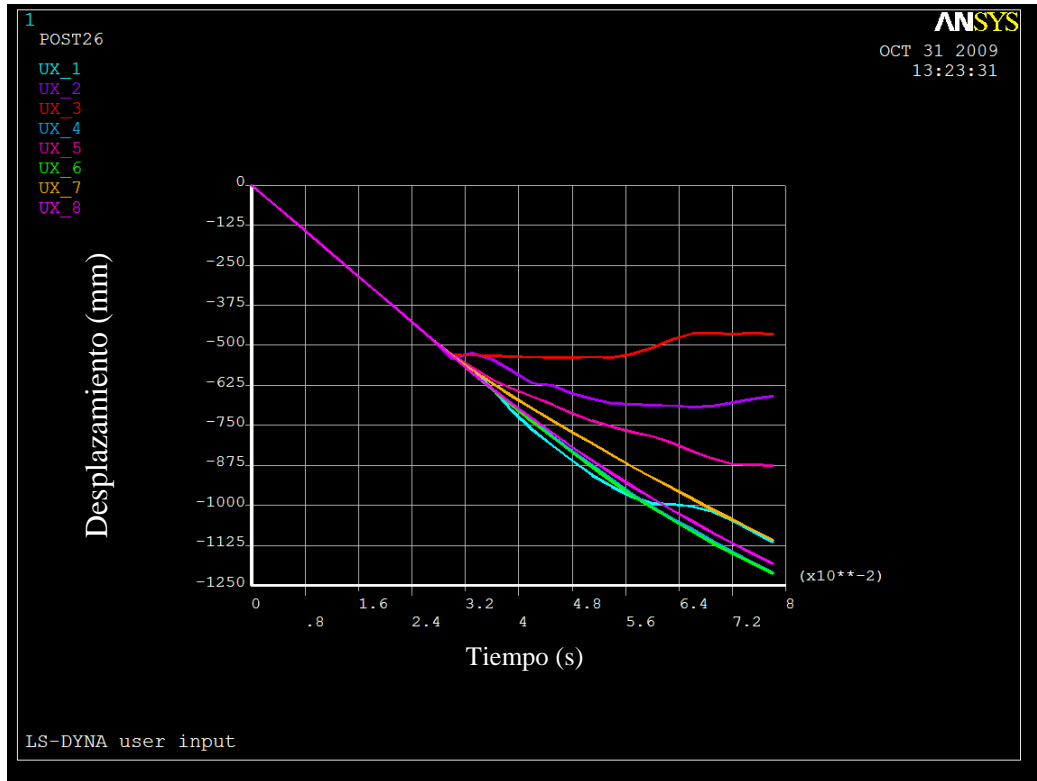


Figura I.1: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)





## CAPÍTULO 9: ANEXOS

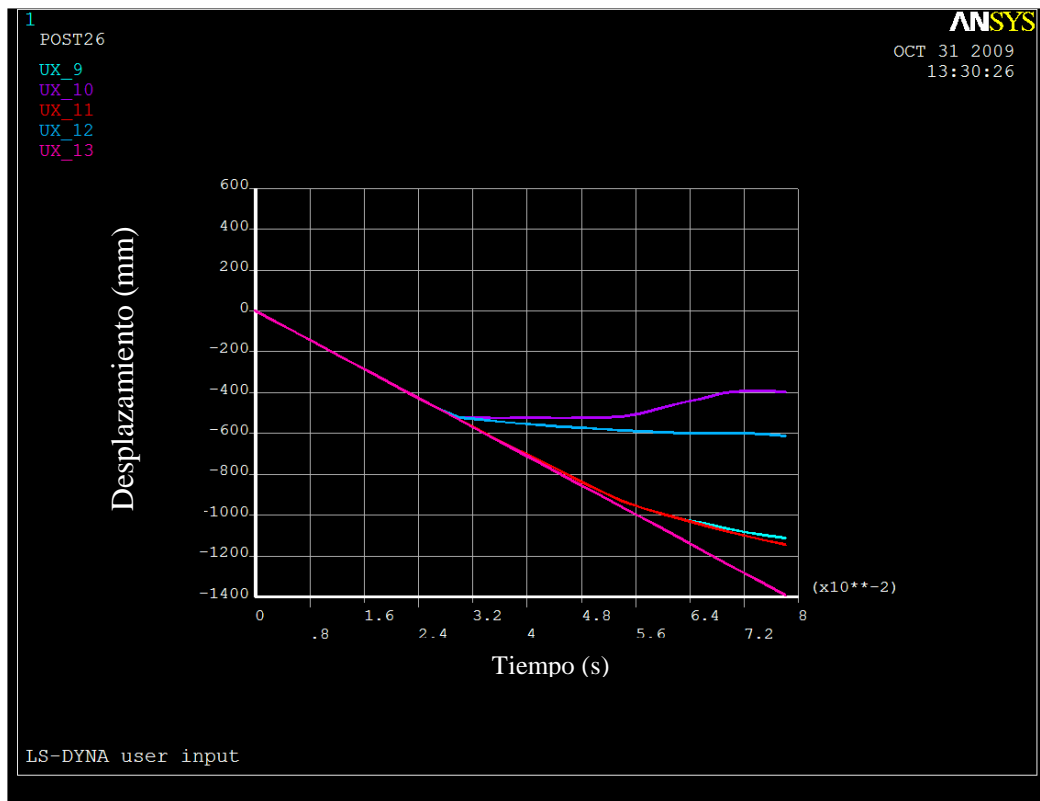


Figura I.2: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)

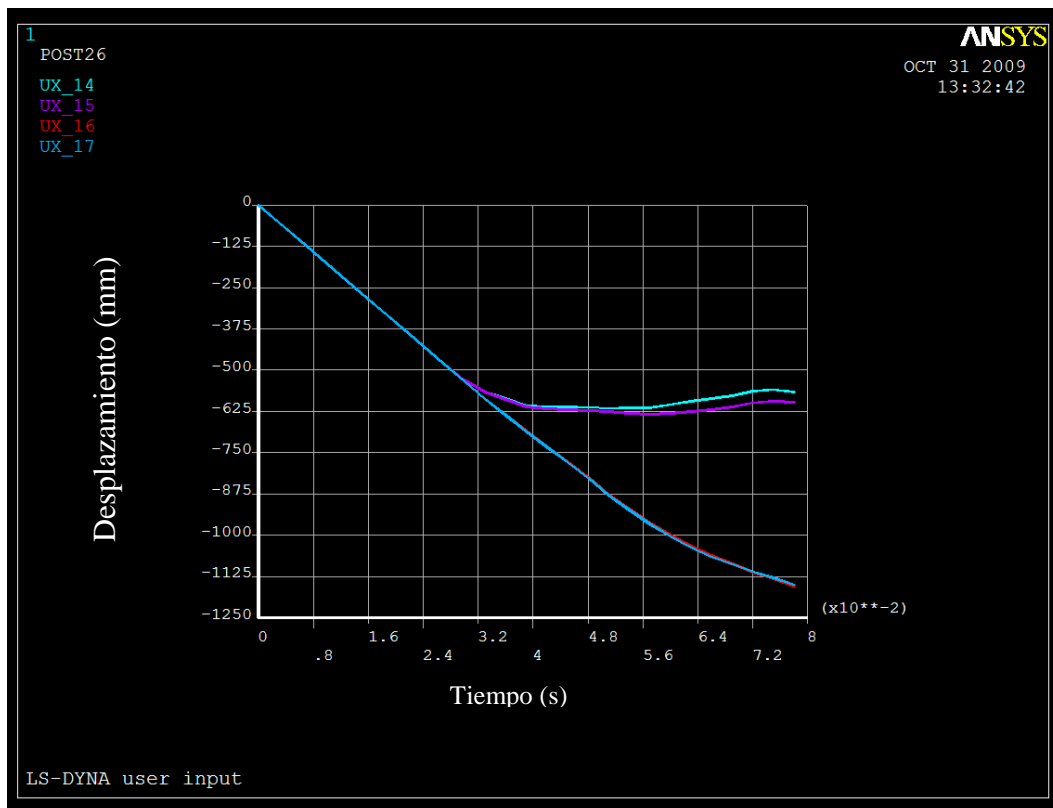
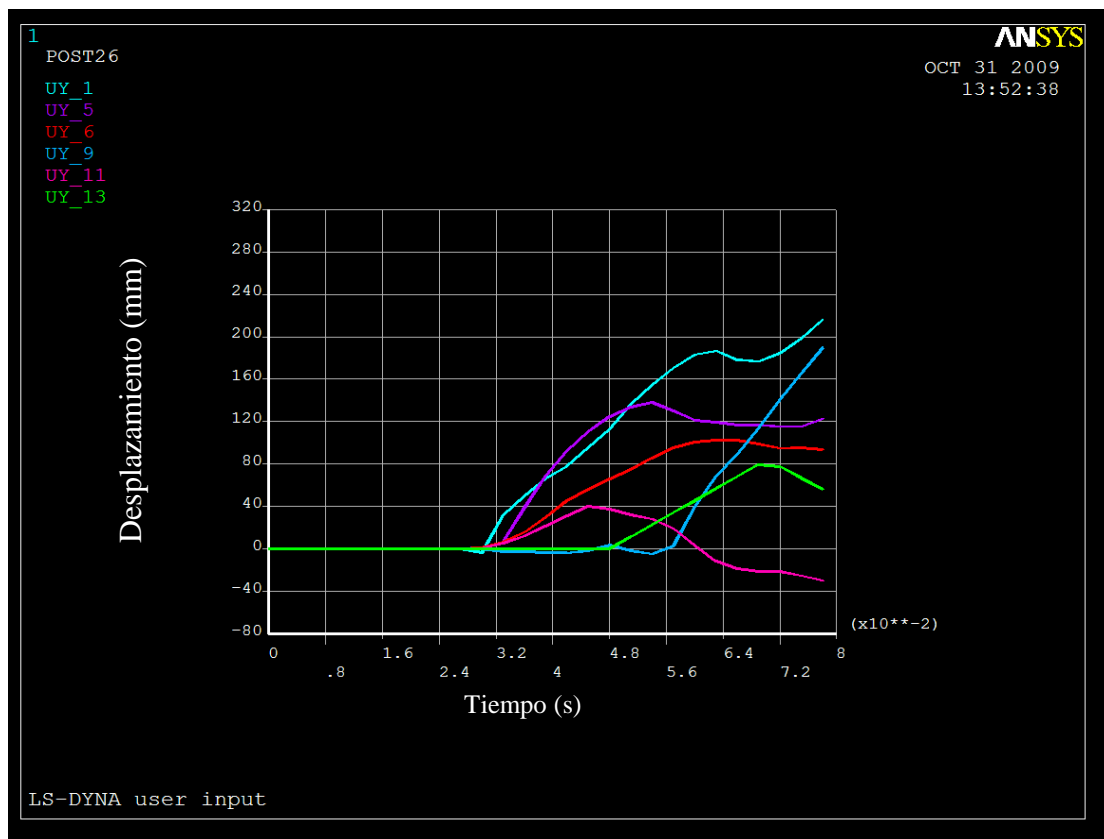


Figura I.3: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)

Tras verificar que el desplazamiento de los puntos seleccionados tiene un comportamiento idéntico al caso anterior se va a hacer un estudio similar para la dirección del eje Y. Para llevar a cabo este estudio se van a seleccionar los mismos puntos que para el caso del test EuroNCAP (figura I.4).

- La figura I.4 muestra el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Y. El comportamiento de los puntos es similar aunque se puede apreciar alguna diferencia y puede ser debido a alguna pequeña variación geométrica del modelo o en la situación del muro. Salvo por esa pequeña variación el comportamiento es exactamente el mismo.



**Figura I.4: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Y (mm) VS TIEMPO (s)**

- En la figura I.5 se representa el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Z. Los puntos que presentan desplazamiento en el eje Z es consecuencia de las deformaciones que experimenta el vehículo.

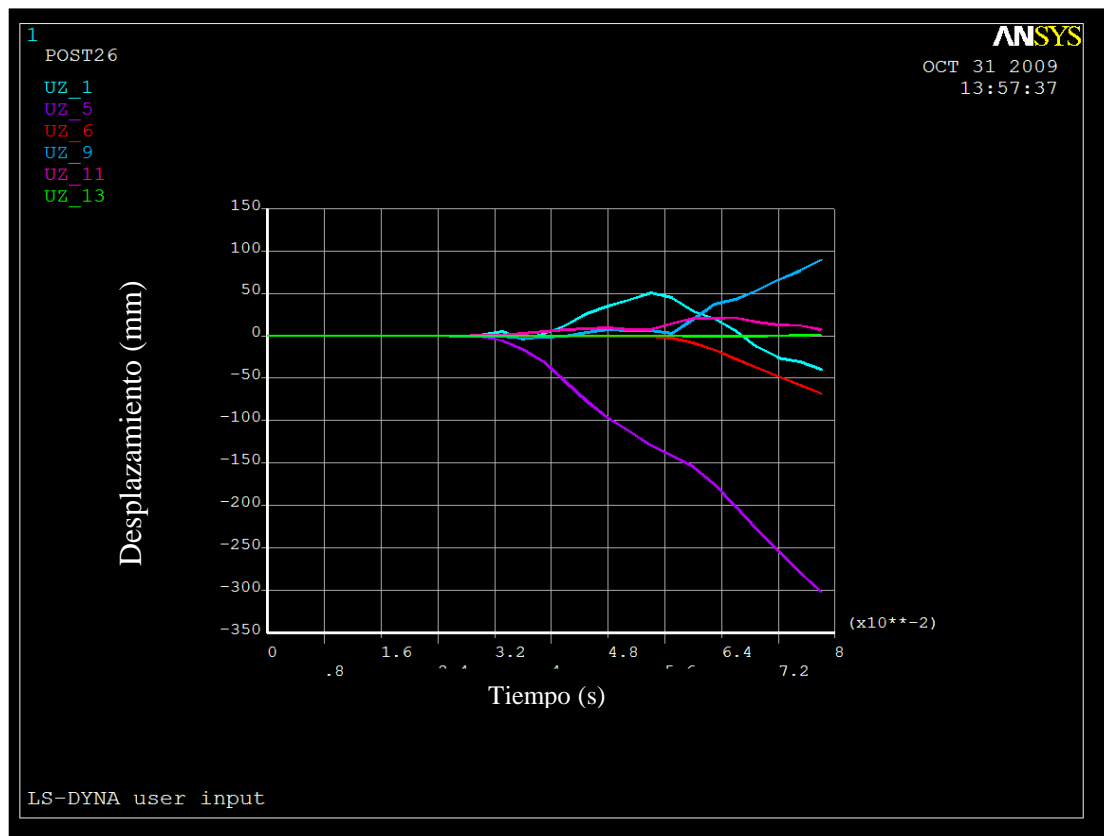


Figura I.5: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Z (mm) VS TIEMPO (s)

El siguiente paso consiste en estudiar las velocidades de los puntos de la estructura del vehículo utilizados anteriormente. A continuación se mostrarán distintas gráficas que representan las funciones que definen el vector velocidad lineal en distintas direcciones:

- La figura I.6 muestra la variación de la velocidad en la dirección X de diferentes puntos situados en la carrocería del vehículo. El comportamiento es equivalente al anterior, presentando mayores reducciones de velocidad aquellos puntos situados en el lado del impacto.
- En la figura I.7 se muestra la variación de velocidad en la dirección del eje X de distintos puntos del chasis del vehículo. Los puntos 10 y 12 son los que muestran una mayor variación de velocidad.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

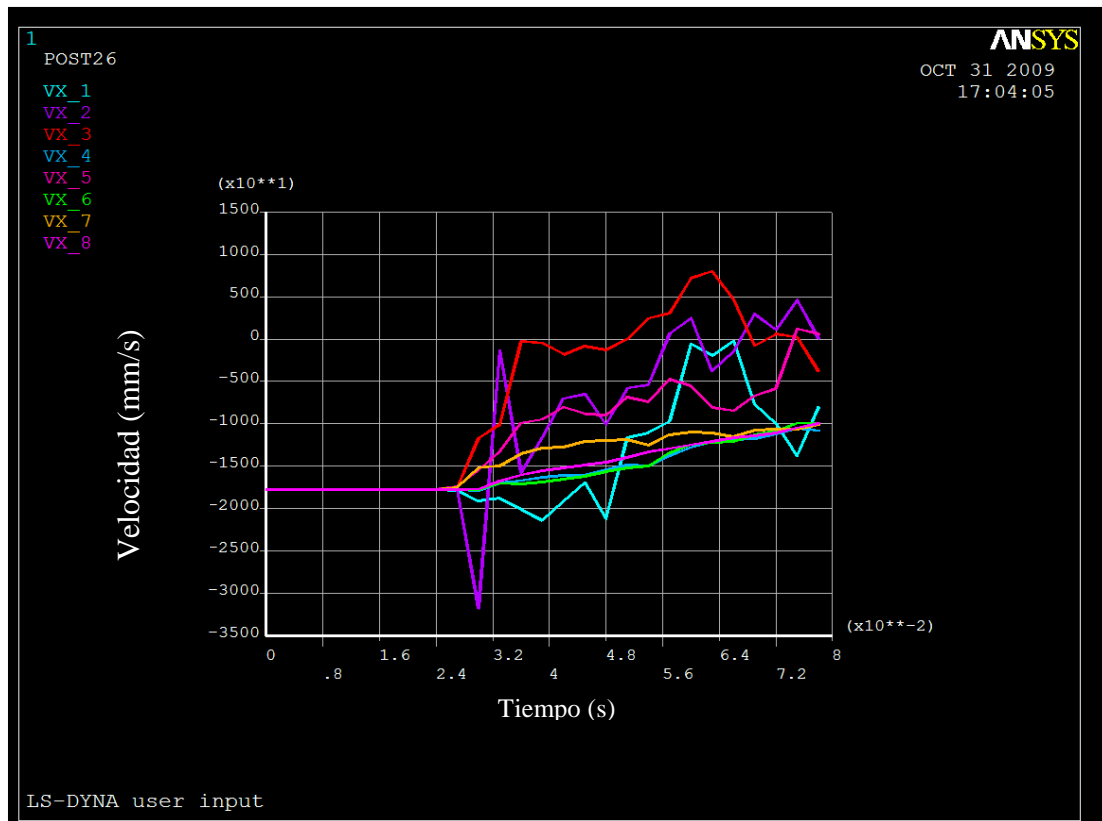


Figura I.6: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)

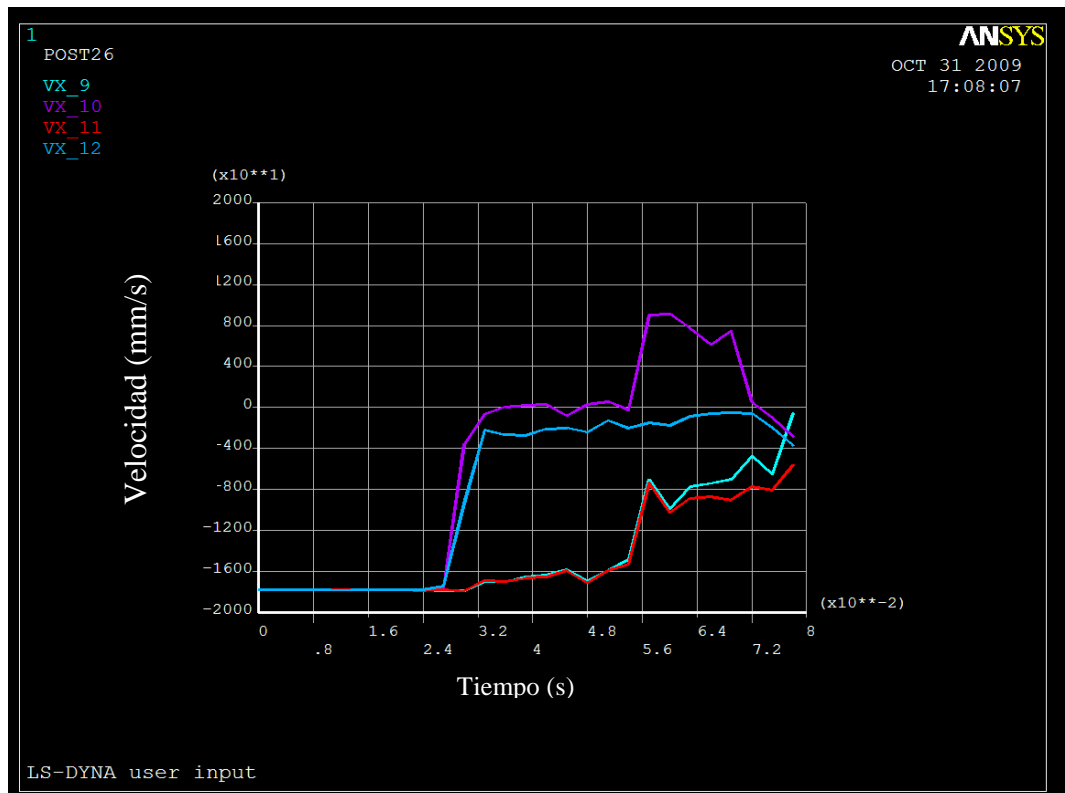
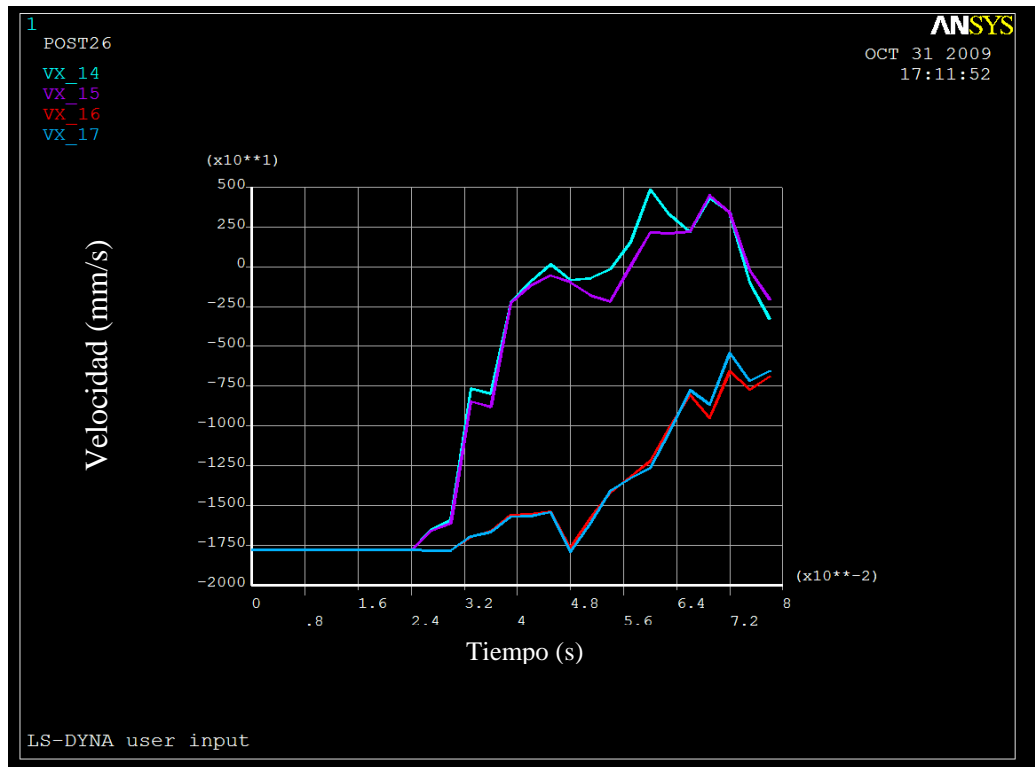


Figura I.7: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)

- La figura I.8 representa la variación de velocidad en la dirección del eje X de otros puntos de la carrocería del vehículo. Las funciones de velocidad muestran un comportamiento similar a los casos anteriores



**Figura I.8: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)**

En la figura I.9 se representan la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Y.

- La figura I.10 muestra la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Z. Las velocidades que aparecen en esta dirección son consecuencia de las deformaciones que se producen en la estructura del vehículo.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

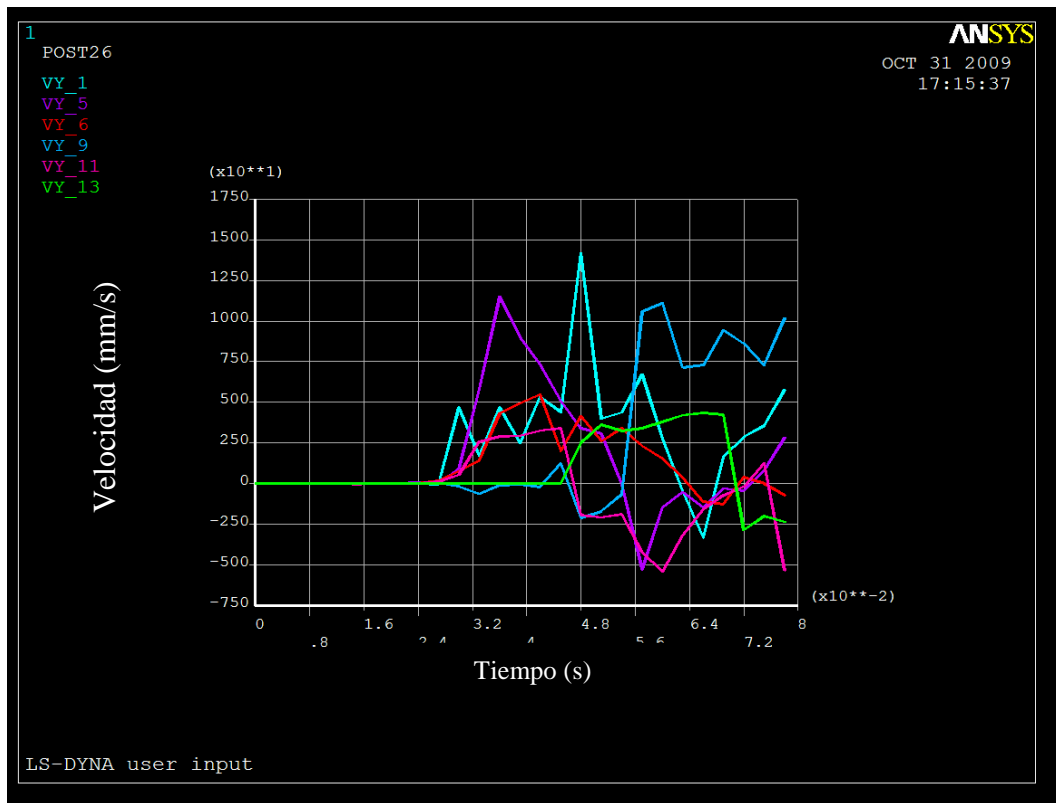


Figura I.9: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) VS TIEMPO (s)

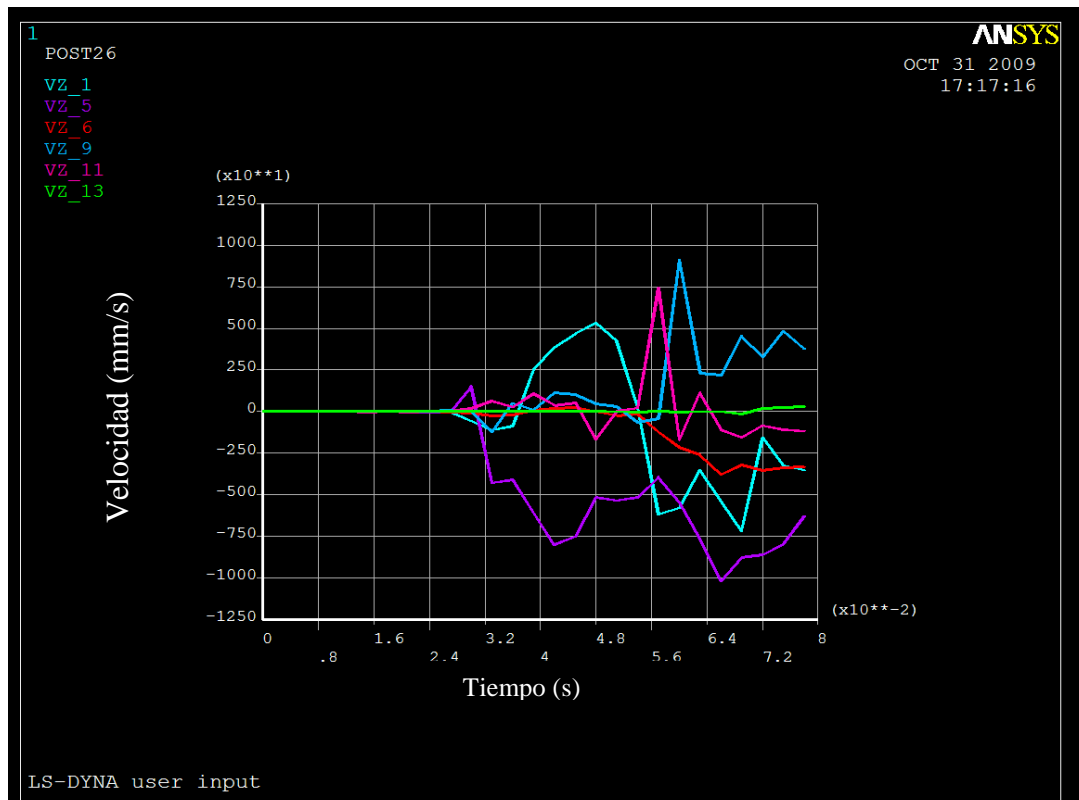


Figura I.10: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) VS TIEMPO (s)

Al igual que en el apartado anterior se muestra la distribución de tensiones experimentada por el vehículo en el instante 0.07

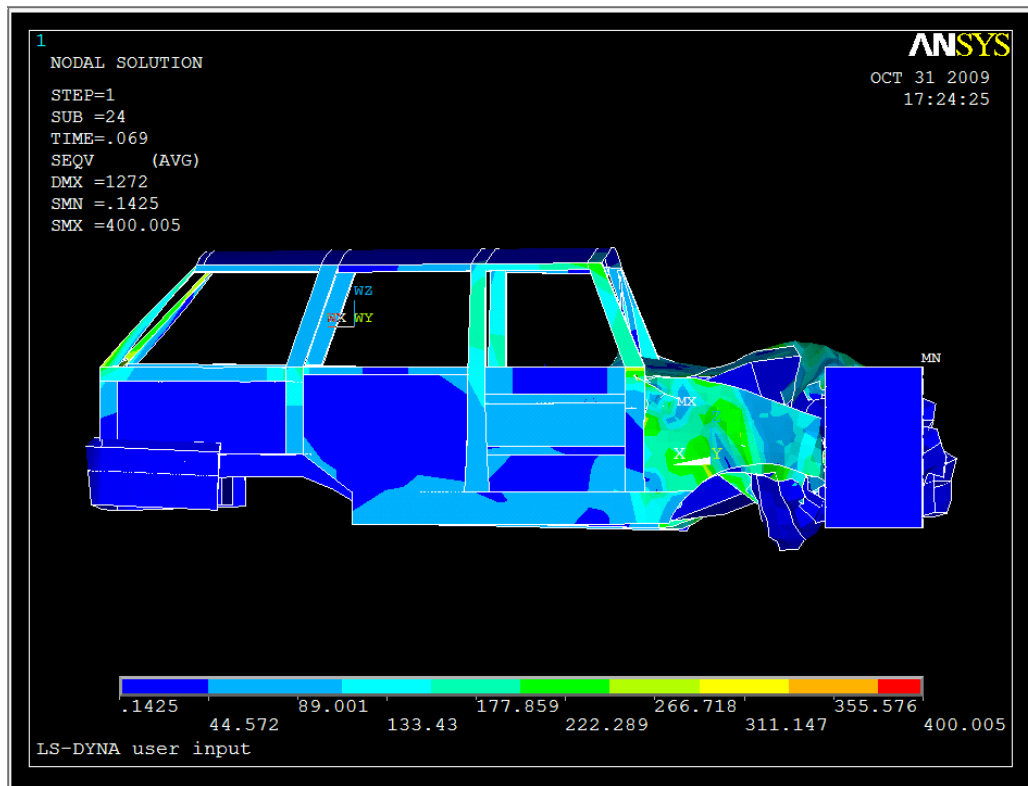
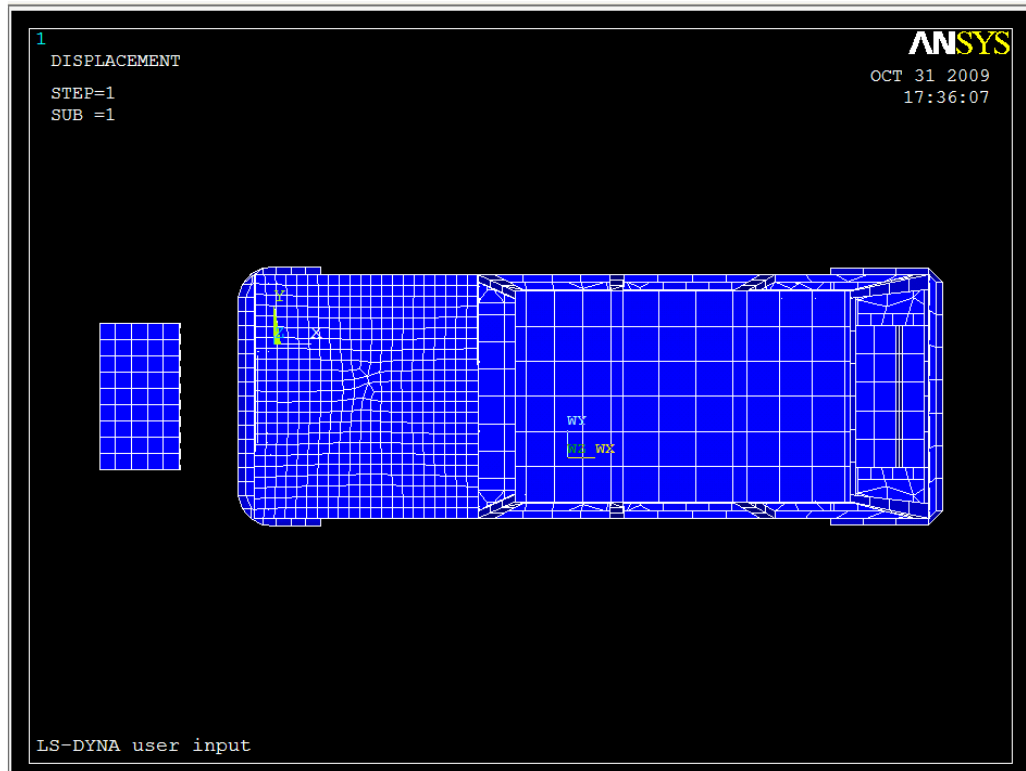


Figura I.11: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO (MPa)

## I.2 Configuración de impacto centrado

En esta configuración el muro se encuentra situado en una posición centrada, tal y como puede verse en la figura I.12.



**Figura I.12: POSCIÓN RELATIVA MURO - VEHÍCULO**

A continuación se va a llevar a cabo el mismo análisis que en apartados anteriores.

En las figuras I.13, I.14 y I.15 se encuentran representadas las funciones de la variación del vector desplazamiento en la componente X de cada punto seleccionado:

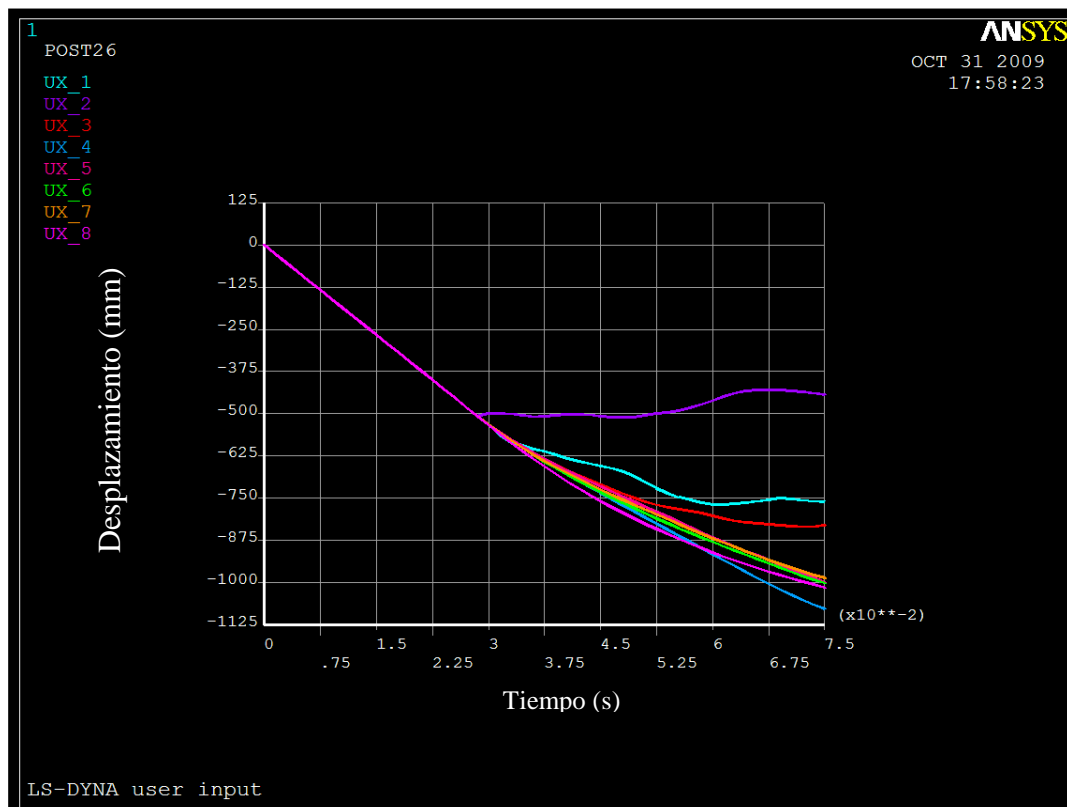
- En la figura I.13 se puede observar el desplazamiento de los puntos a lo largo del eje X. La posición del muro hace que el comportamiento de los puntos seleccionados sea muy similar. El único punto que muestra un comportamiento distinto es el punto 2 que se encuentra situado en el centro del todoterreno, por lo que su desplazamiento se reduce de forma más brusca. Estos nodos se encuentran en la "chapa" de la carrocería, por lo que al no ser un impacto directo su variación de desplazamiento es menos brusca que en





aquellos pertenecientes a elementos estructurales (chasis, largueros de carrocería)

- En la figura I.14 se puede observar el desplazamiento de diversos puntos del chasis en la dirección del eje X. Los puntos 9, 10, 11, 12 ven frenado de forma muy violenta su desplazamiento debido a que el chasis se deforma considerablemente debido al impacto.
- La figura I.15 muestra el desplazamiento de diversos componentes de la carrocería. Los puntos seleccionados pertenecen a los largueros de la carrocería. Durante el impacto el muro se incrusta entre estos elementos, por lo que su deformación no es tan fuerte y de ahí que la disminución de desplazamiento no sea tan marcada como en los nodos situados en el chasis.



**Figura I.13: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)**



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

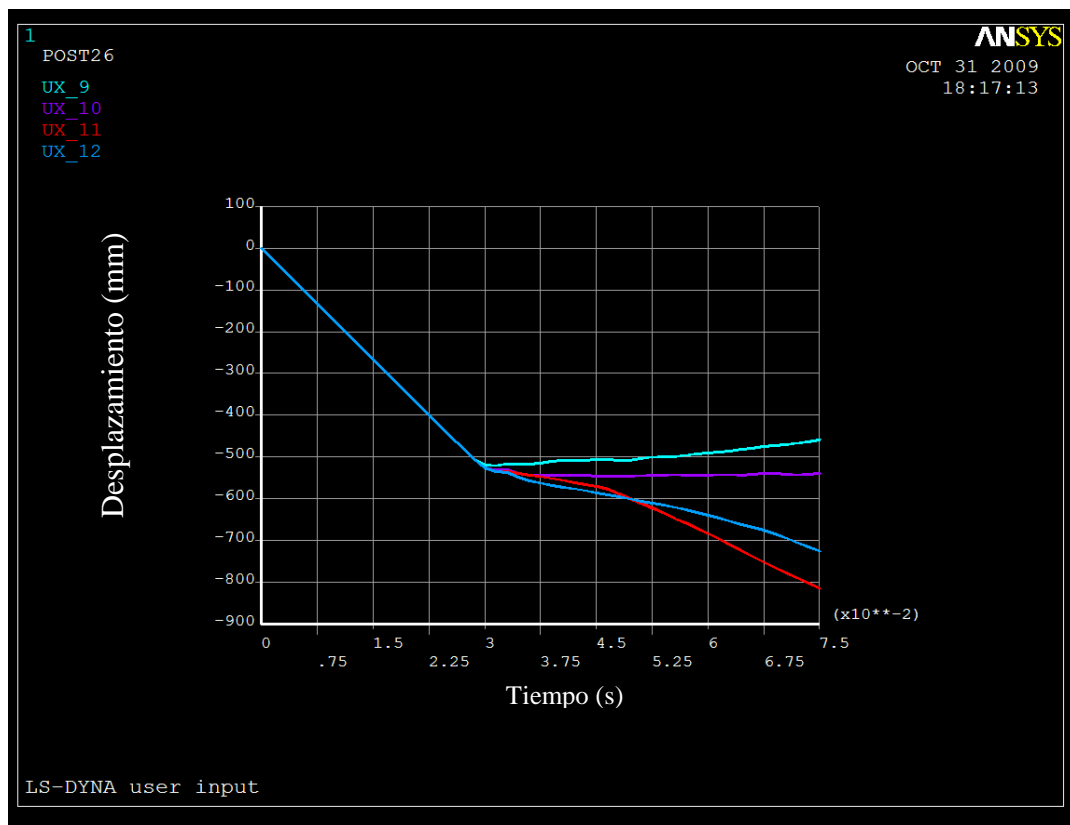


Figura I.14: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)

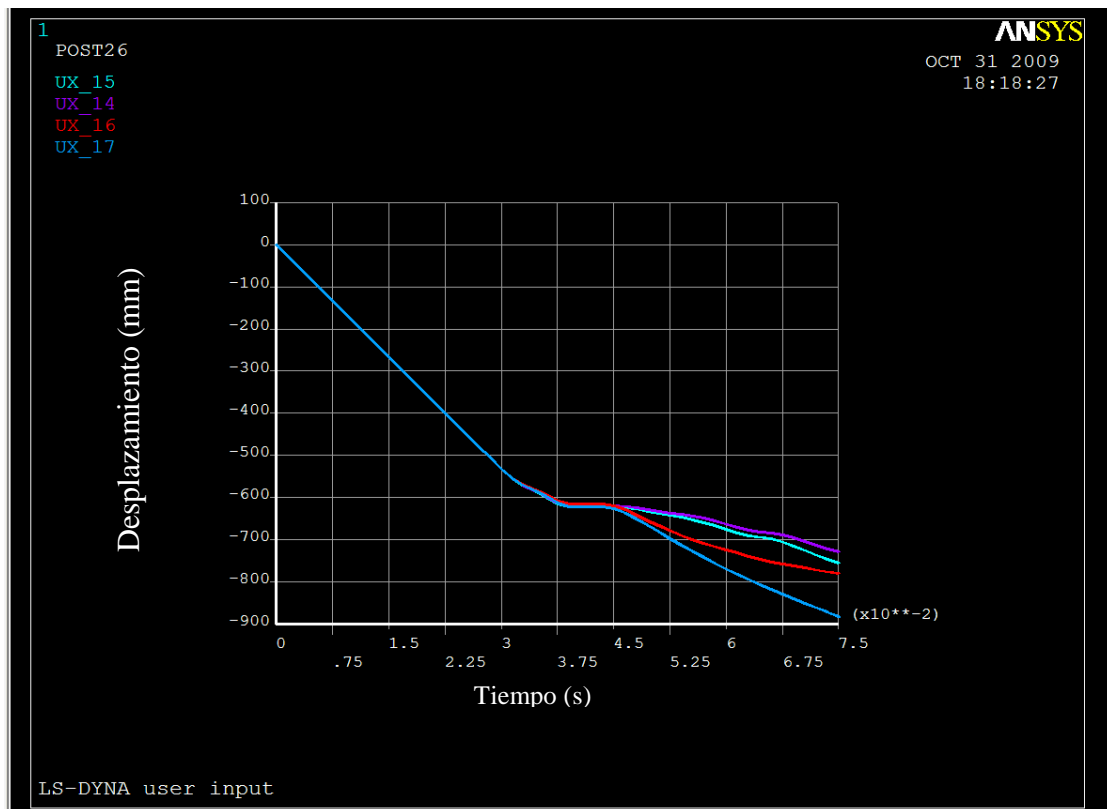
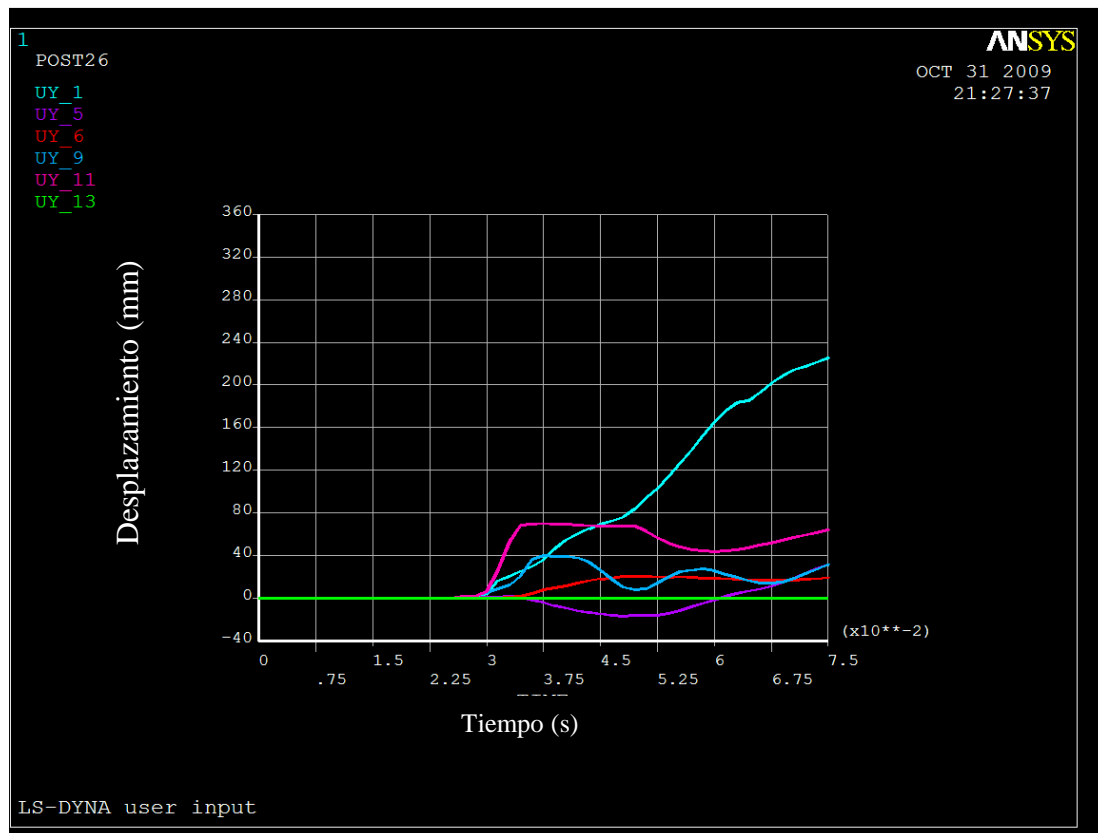


Figura I.15: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)



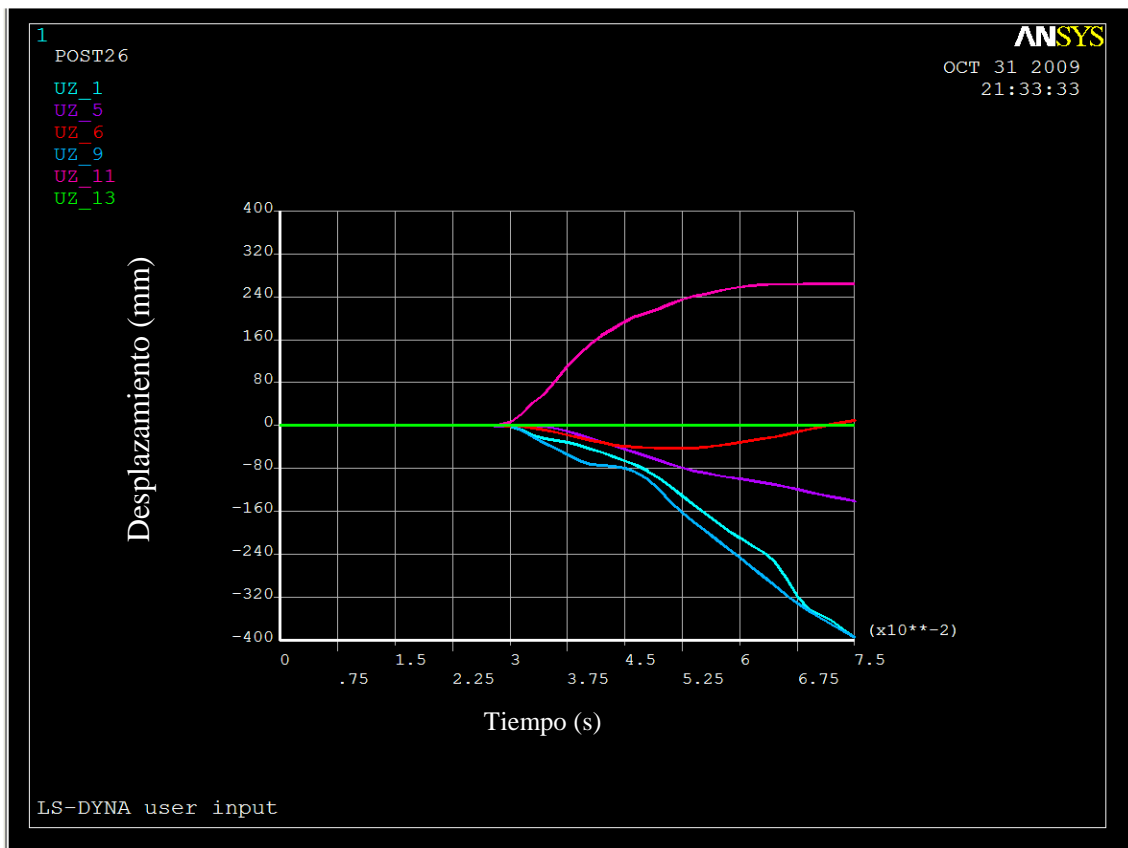
A continuación se va a realizar un estudio similar con el desplazamiento en el eje Y.

- La figura I.16 muestra el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Y. Con esta configuración se puede observar como el desplazamiento lateral de los puntos es menor que para configuraciones anteriores. Únicamente el punto 1 se desplaza en mayor medida y esto se debe a la deformación de la zona en la que se encuentra situado dicho nodo.



**Figura I.16: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Y (mm) VS TIEMPO (s)**

- En la figura I.17 se representa el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Z. Los puntos que presentan desplazamiento en el eje Z es consecuencia de las deformaciones que sufre el vehículo. El comportamiento es similar al experimentado en apartados anteriores.



**Figura I.17: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Z (mm) VS TIEMPO (s)**

A continuación se mostrarán distintas gráficas que representan las funciones que definen el vector velocidad lineal en las direcciones de los ejes de referencia:

- La figura I.18 muestra la variación de la velocidad en la dirección X de diferentes puntos situados en la carrocería del vehículo. La variación de la velocidad a consecuencia del impacto es menos intensa que en los casos anteriores
- En la figura I.19 se muestra la variación de velocidad en la dirección del eje X de varios puntos del chasis del vehículo. En este caso se puede observar que todos los puntos tienen un comportamiento muy parecido, no existen grandes diferencias de un punto a otro, al contrario que en las configuraciones anteriores.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

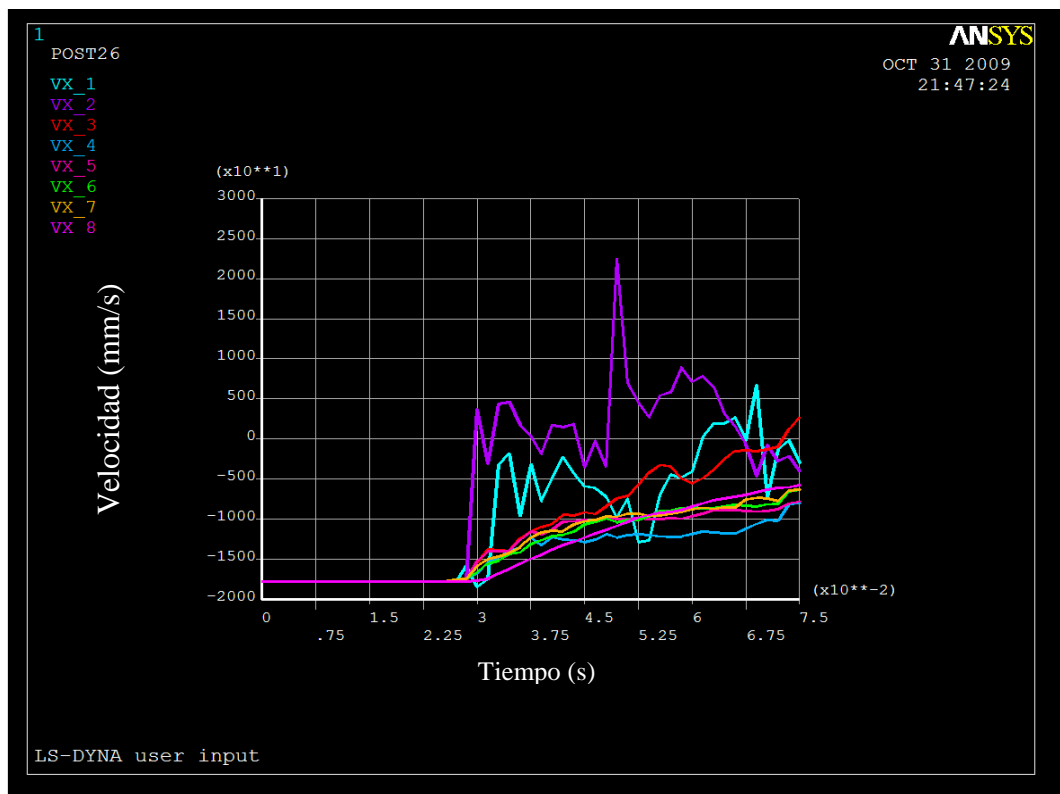


Figura I.18: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)

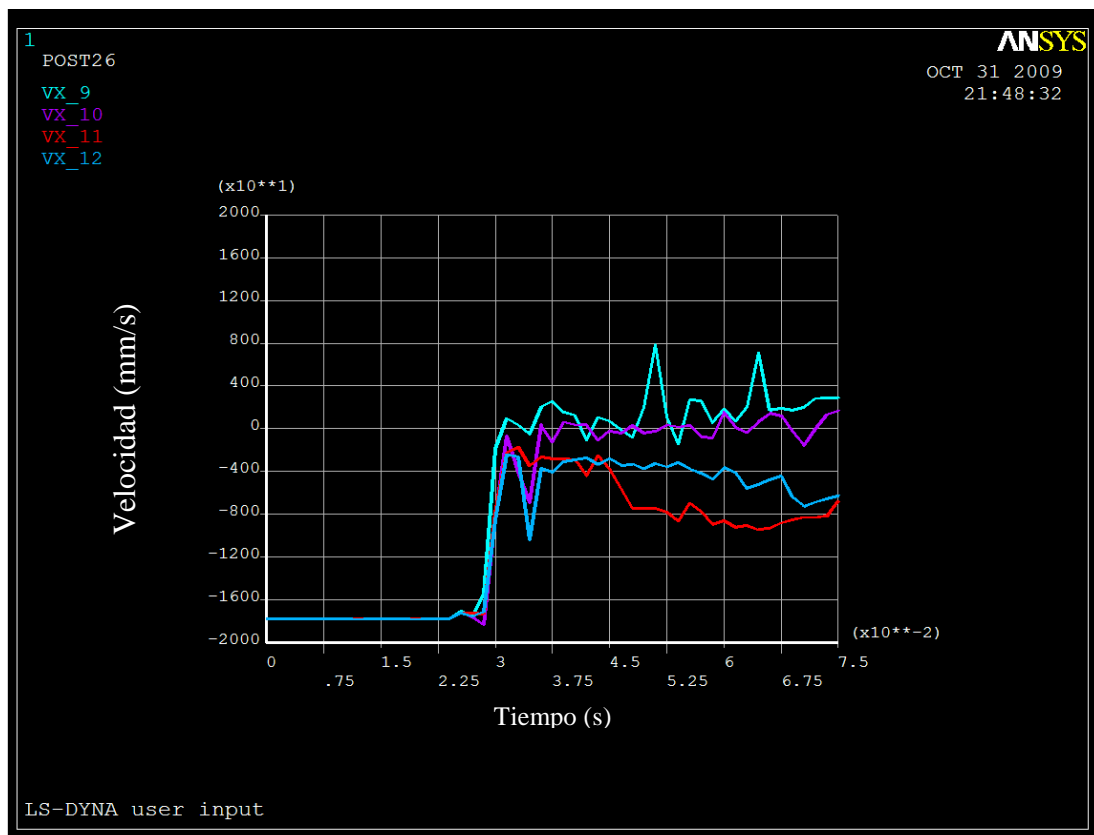
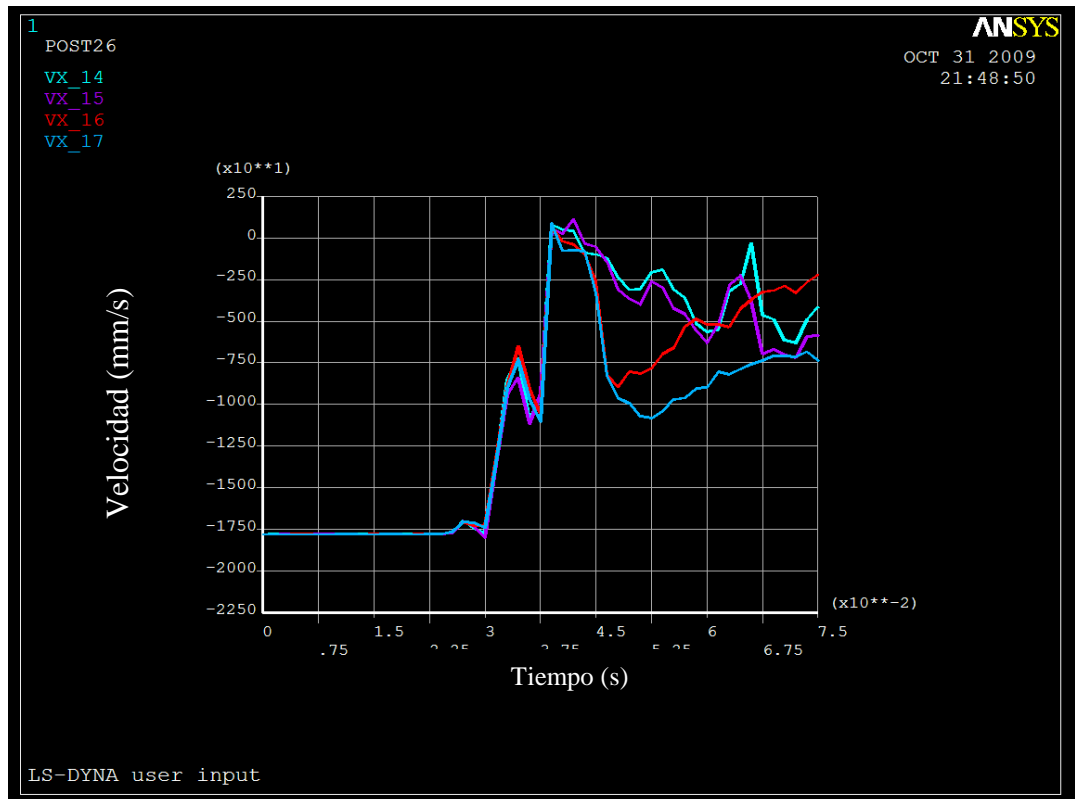


Figura I.19: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)



- La figura I.20 representa la variación de velocidad en la dirección del eje X de otros puntos de la carrocería del vehículo. Las funciones de velocidad muestran un comportamiento similar a los casos anteriores.



**Figura I.20: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)**

- En la figura I.21 se representan la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Y.
- La figura I.22 muestra la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Z. Las velocidades que aparecen en esta dirección son consecuencia de las deformaciones que se producen en la estructura del vehículo.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

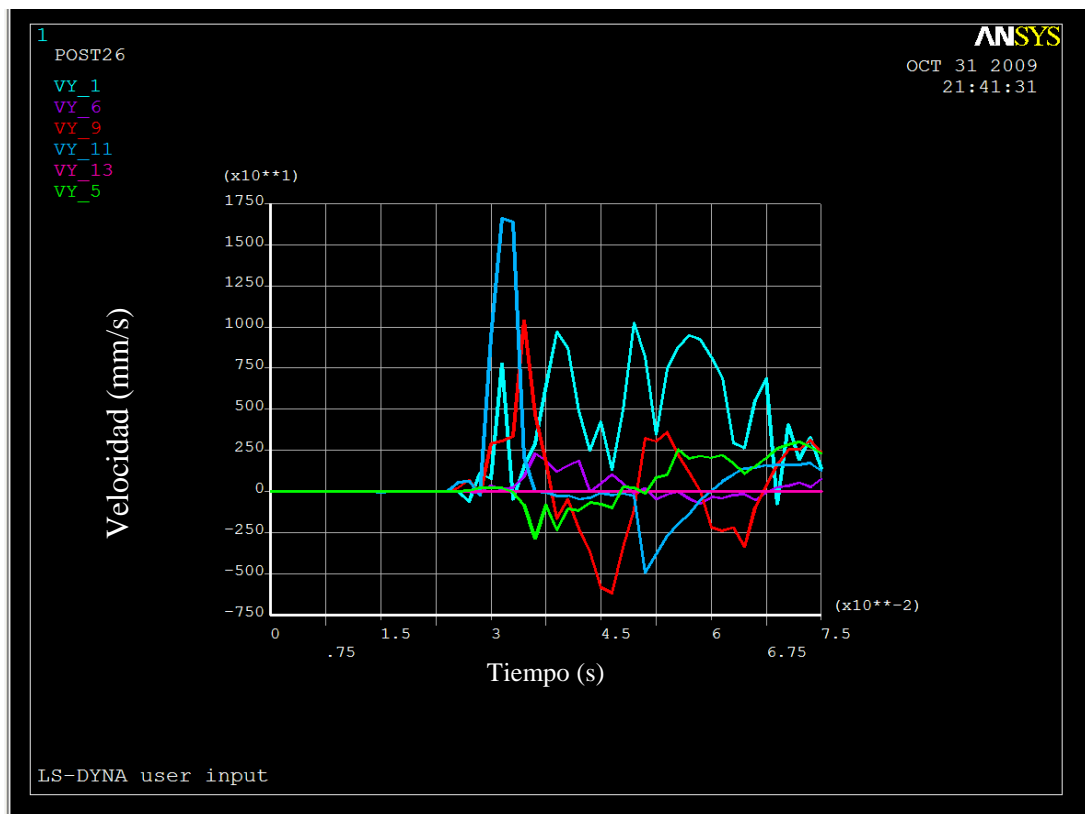


Figura I.21: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) VS TIEMPO (s)

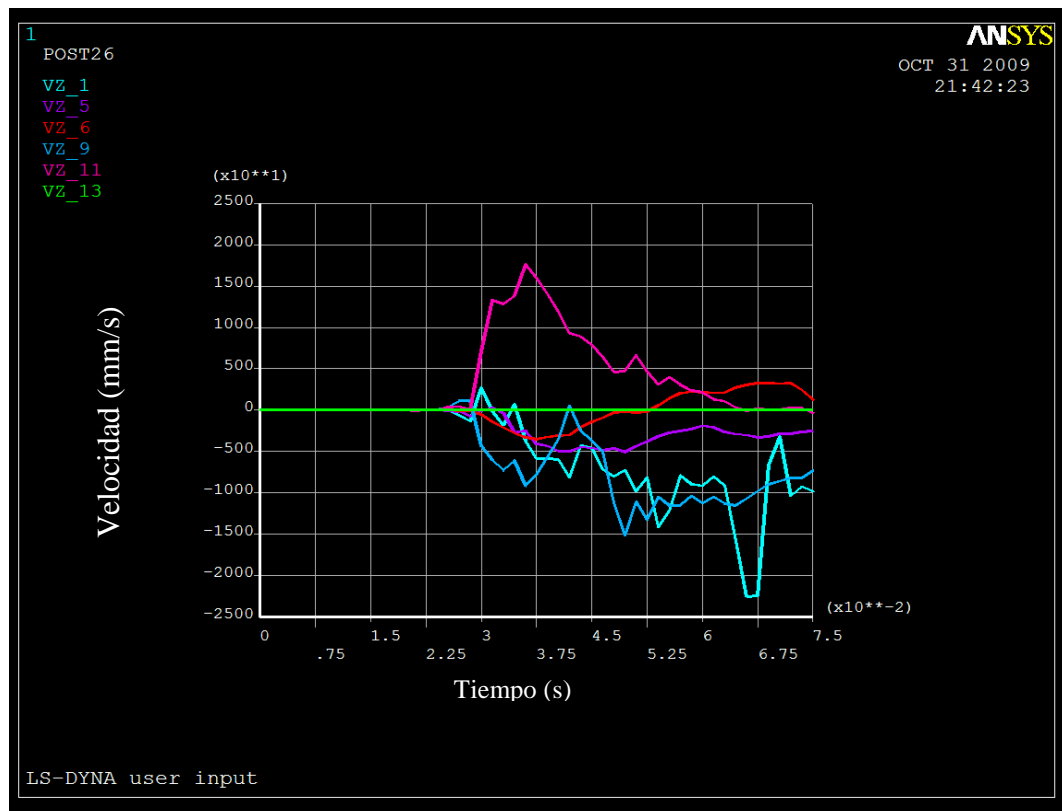


Figura I.22: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) VS TIEMPO (s)

Al igual que en el apartado anterior se muestra la distribución de tensiones experimentada por el vehículo en el instante 0.07

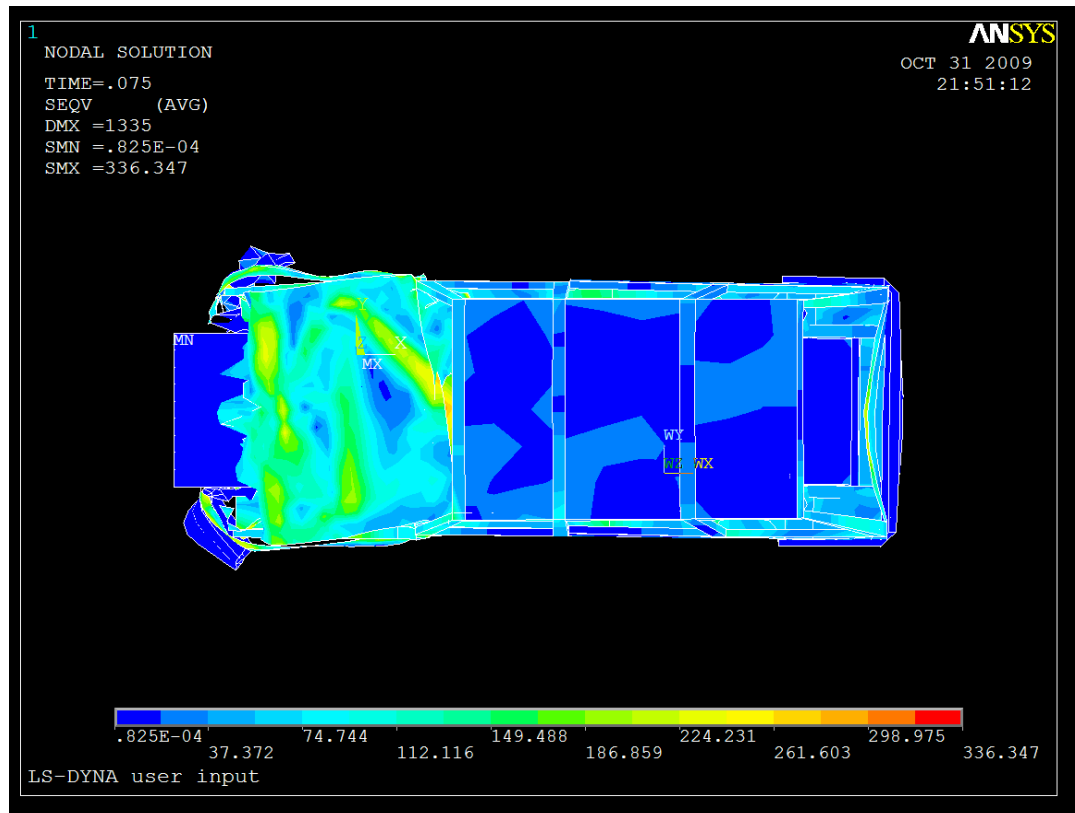
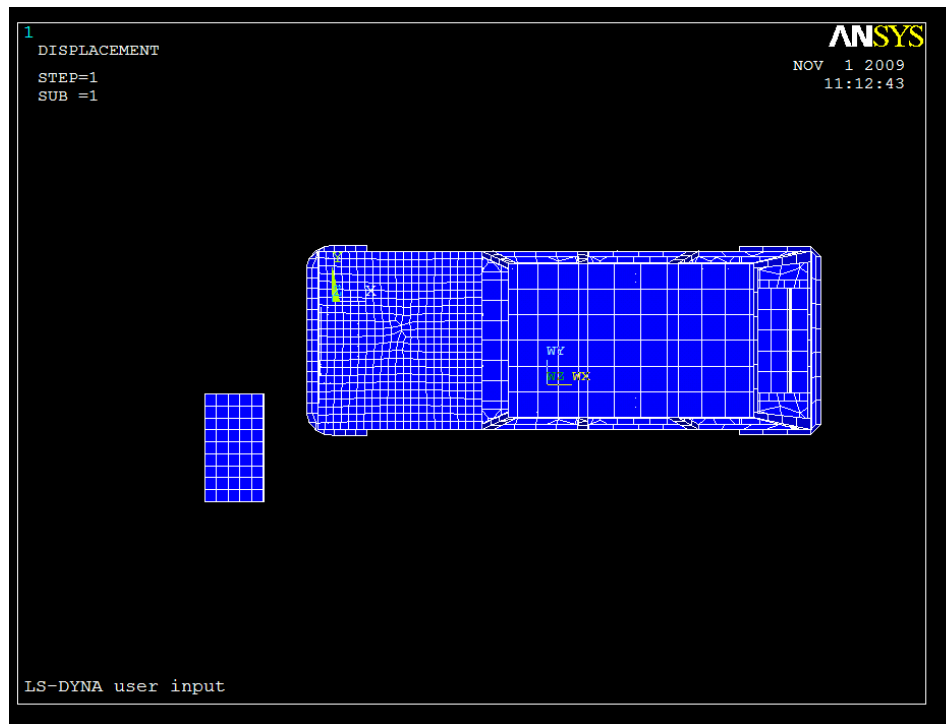


Figura I.23: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO (MPa)



### I.3 Configuración de impacto 20 % área frontal en el lateral del conductor

En esta configuración el muro se encuentra situado de tal forma que el impacto se produce sobre el 20 % del área frontal del todoterreno. La posición relativa se muestra en la figura I.24.



**Figura I.24: POSCIÓN RELATIVA MURO - VEHÍCULO**

A continuación se va a llevar a cabo el mismo análisis que en apartados anteriores.

En las figuras I.25, I.26 y I.27 se encuentran representadas las funciones de variación del vector desplazamiento en la componente X de cada punto seleccionado:

- En la figura I.25 se puede observar el desplazamiento de los puntos a lo largo del eje X. La posición del muro en esta configuración propicia que el comportamiento de los puntos situados en el lado del impacto difiera mucho de los puntos situados en el otro lateral. De esta forma los puntos 1, 2 y 4 son los que se ven más afectados por el impacto, mientras que el resto de puntos sufren pequeñas variaciones en su desplazamiento (se aprecia por la pequeña variación en la

pendiente de las funciones que definen el desplazamiento de dichos puntos).

- En la figura I.26 se puede observar el desplazamiento de diversos puntos del chasis en la dirección del eje X. Los puntos 9, y 11 pertenecen al larguero del chasis situado en el lateral del impacto y por tanto son los que sufren una mayor variación en el desplazamiento.
- La figura I.27 muestra el desplazamiento de diversos componentes de la carrocería. Las funciones de desplazamiento de los puntos dejan patente el lado que se ve afectado por el impacto.

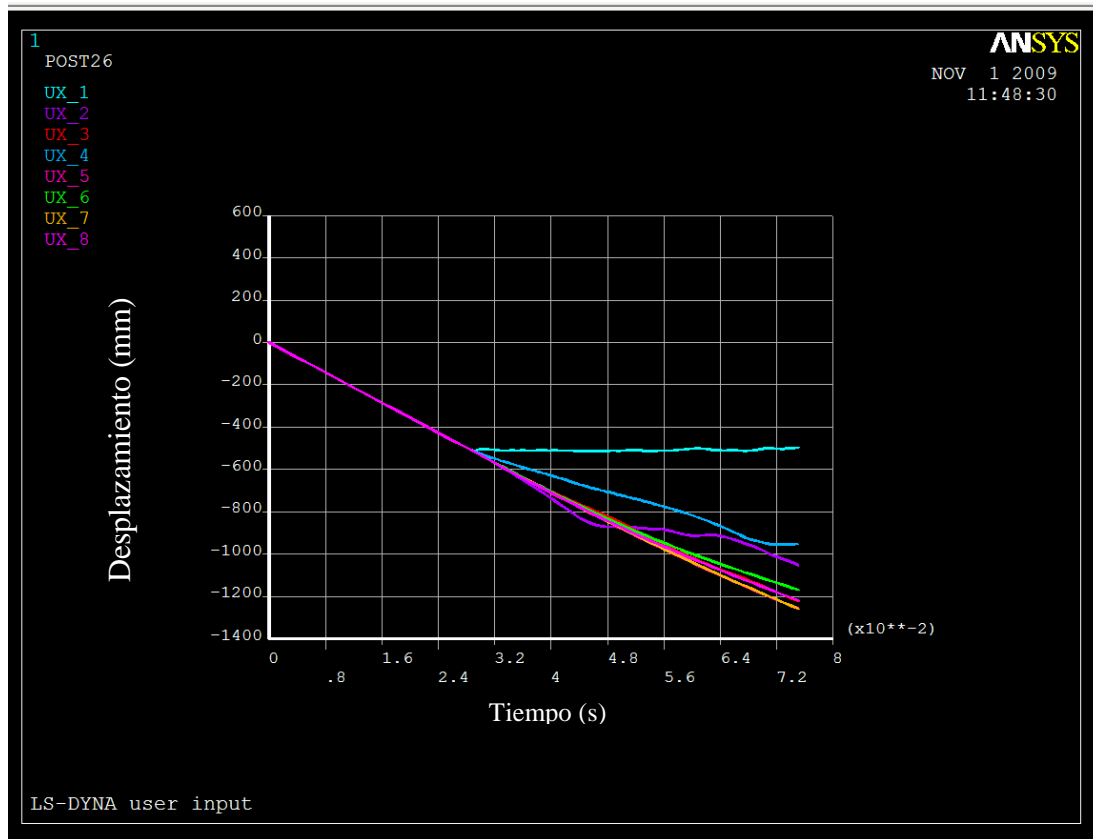


Figura I.25: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

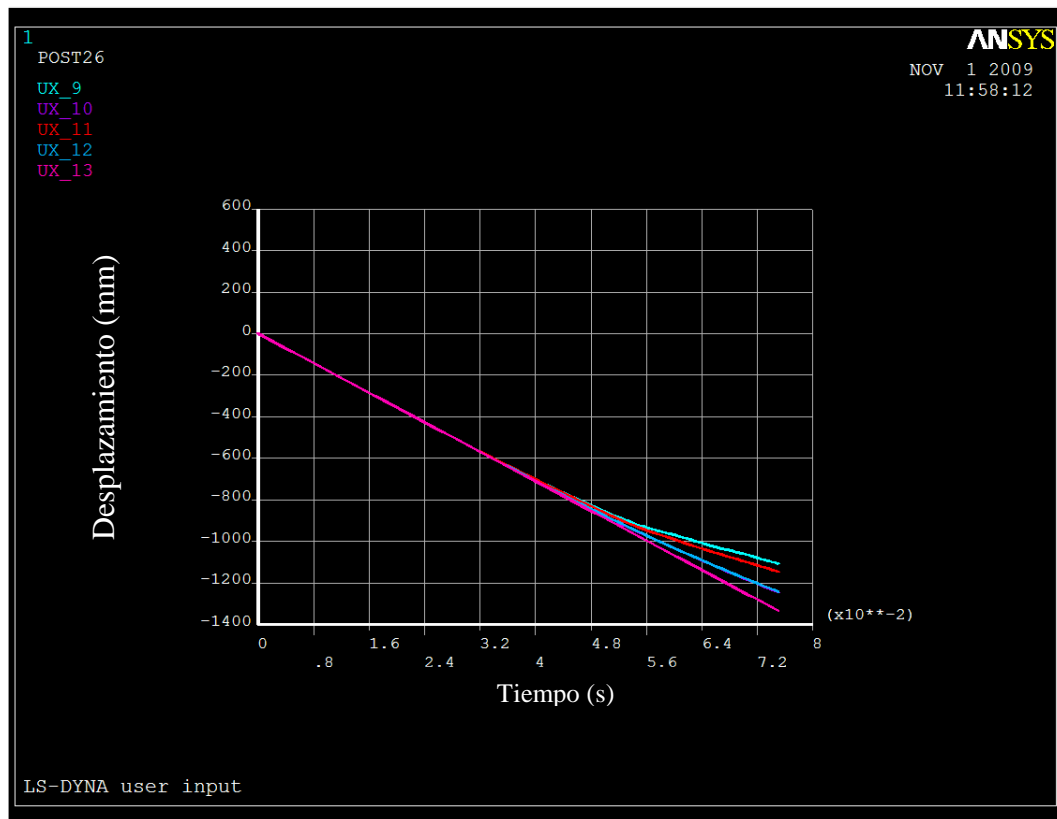


Figura I.26: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)

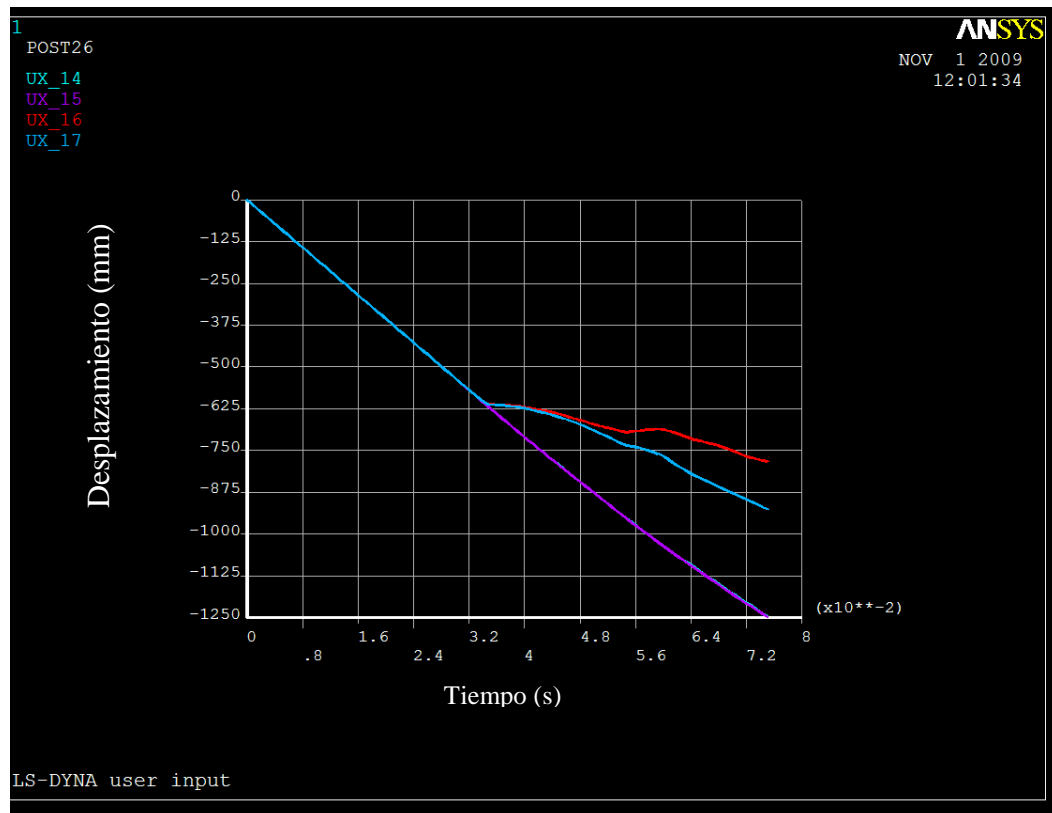


Figura I.27: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)

A continuación se va a realizar un estudio similar con el desplazamiento en el eje Y.

- La figura I.28 muestra el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Y. Con esta configuración se puede observar como el punto 1, que pertenece al lateral dónde se produce el impacto sufre el mayor desplazamiento en el eje Y mientras que el resto de puntos sufren desplazamientos menores. Esta diferencia reside principalmente en las grandes deformaciones que experimenta el lateral dónde se produce el impacto.

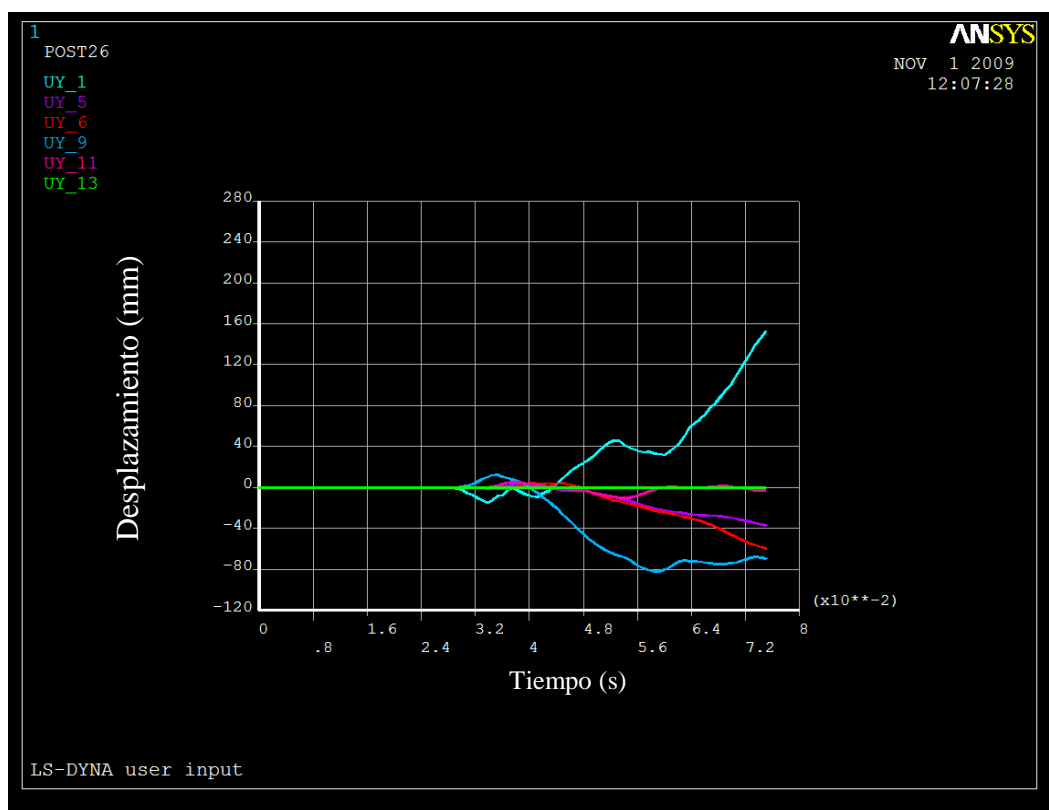
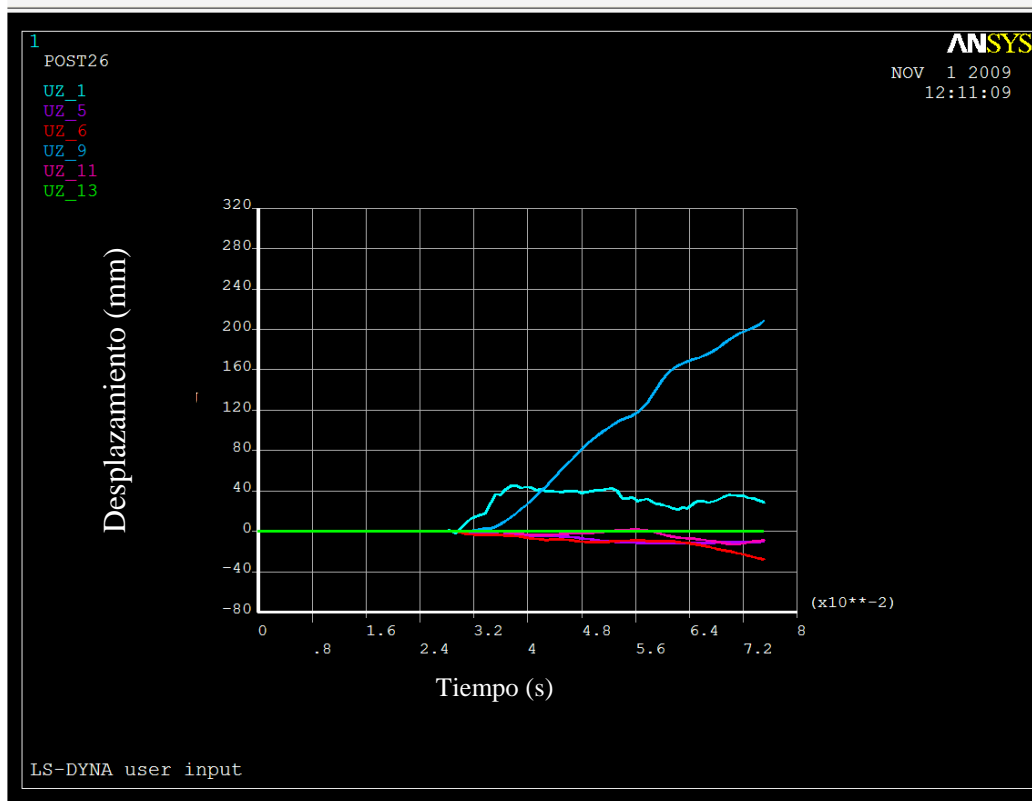


Figura I.28: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Y (mm) VS TIEMPO (s)

- En la figura I.29 se representa el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Z. Esta configuración es la que genera menores deformaciones en el eje Z. El único punto que experimenta grandes deformaciones es el punto 9, que pertenece al larguero del chasis que impacta contra el muro y por tanto es el que más se ve afectado por choque contra el muro.



**Figura I.29: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Z (mm) VS TIEMPO (s)**

En las siguientes gráficas se mostrarán las funciones que definen el vector velocidad lineal en distintas direcciones:

- La figura I.30 muestra la variación de la velocidad en la dirección X de diferentes puntos situados en la carrocería del vehículo. La variación de la velocidad a consecuencia del impacto es menos intensa que en los casos anteriores
- En la figura I.31 se muestra la variación de velocidad en la dirección del eje X de distintos puntos del chasis del vehículo. En este caso se puede observar que aquellos puntos situados en el lateral del conductor experimentan un cambio brusco en su velocidad, a consecuencia del impacto y de las deformaciones. El punto 13, situado lejos de la zona de impacto prácticamente no ve alterada su velocidad (si se hubiese continuado la simulación finalmente si se hubiese modificado su velocidad).



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

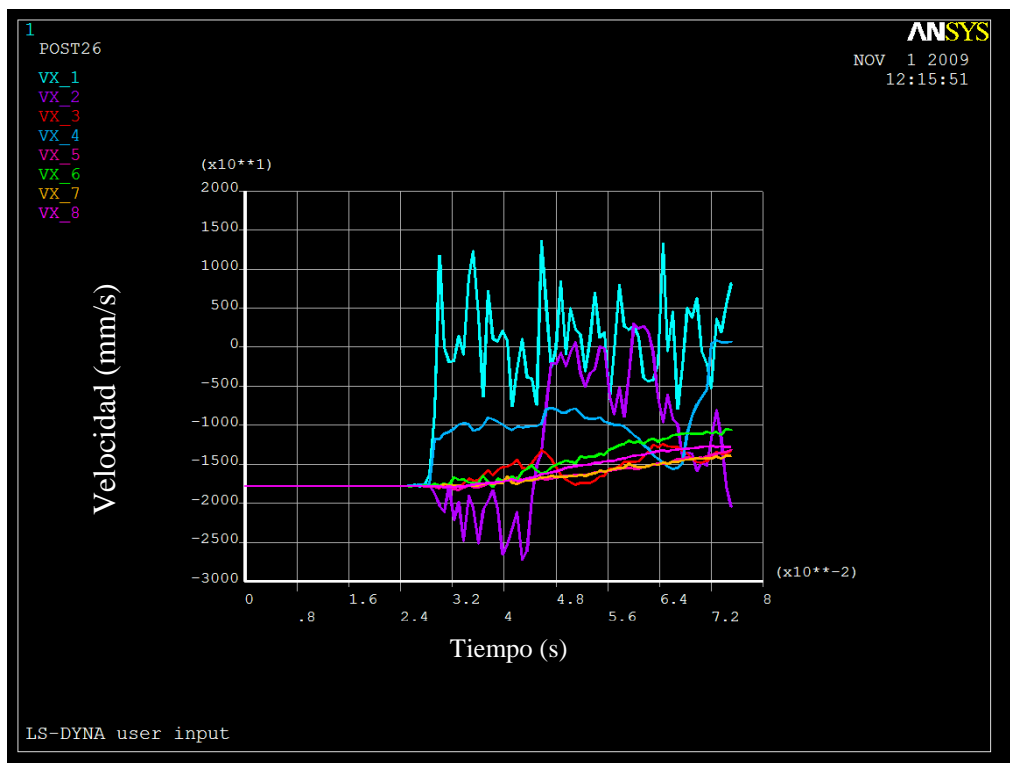


Figura I.30: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)

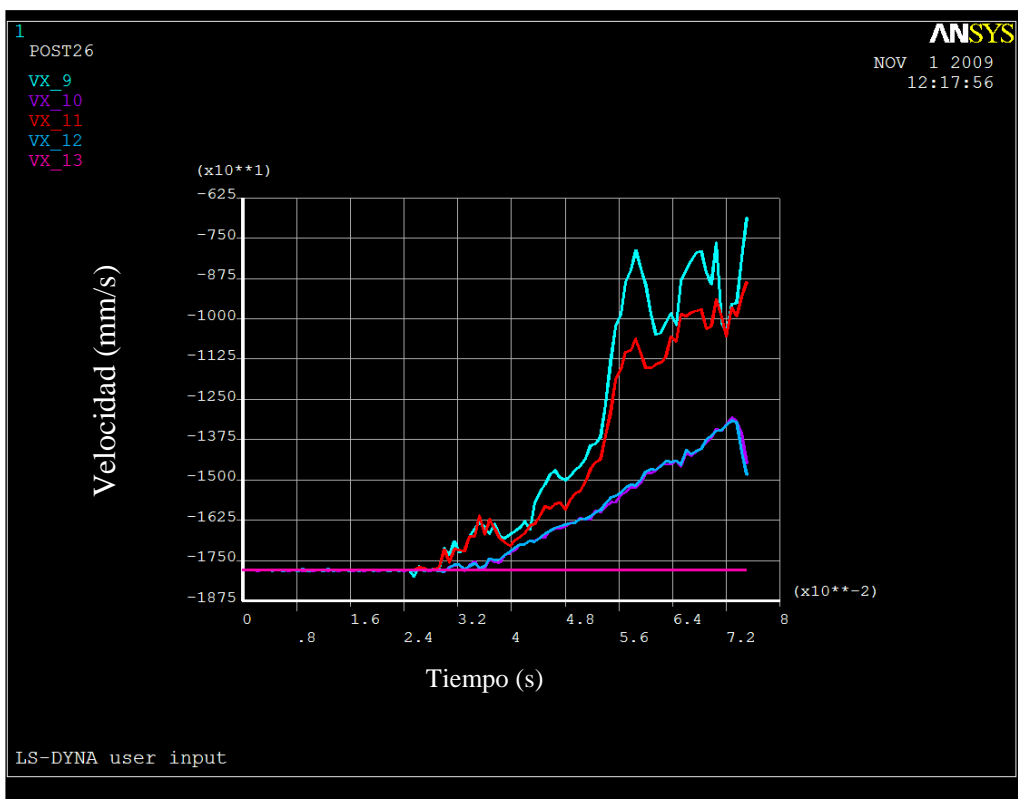
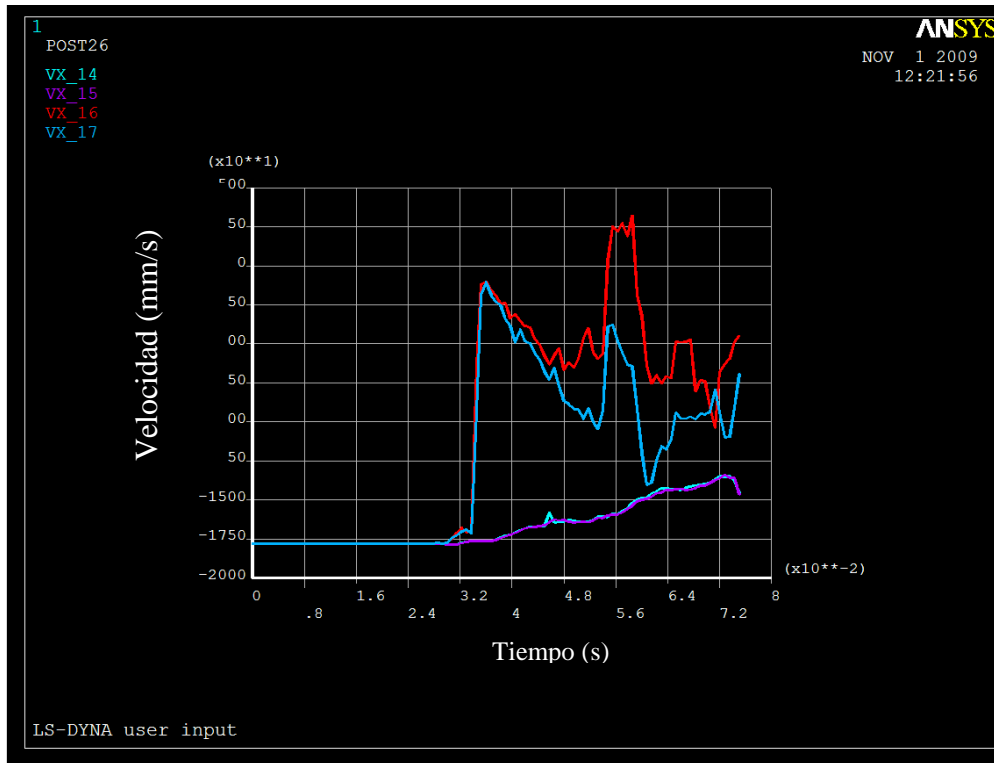


Figura I.31: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)

- La figura I.32 representa la variación de velocidad en la dirección del eje X de otros puntos de la carrocería del vehículo. Las funciones de velocidad muestran un comportamiento similar a los casos anteriores.



**Figura I.32: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)**

- En la figura I.33 se representan la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Y. El punto 1 es el único punto que experimenta grandes variaciones de velocidad en la dirección del eje Y
- La figura I.34 muestra la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Z. Las velocidades que aparecen en esta dirección son consecuencia de las deformaciones que se producen en la estructura del vehículo.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

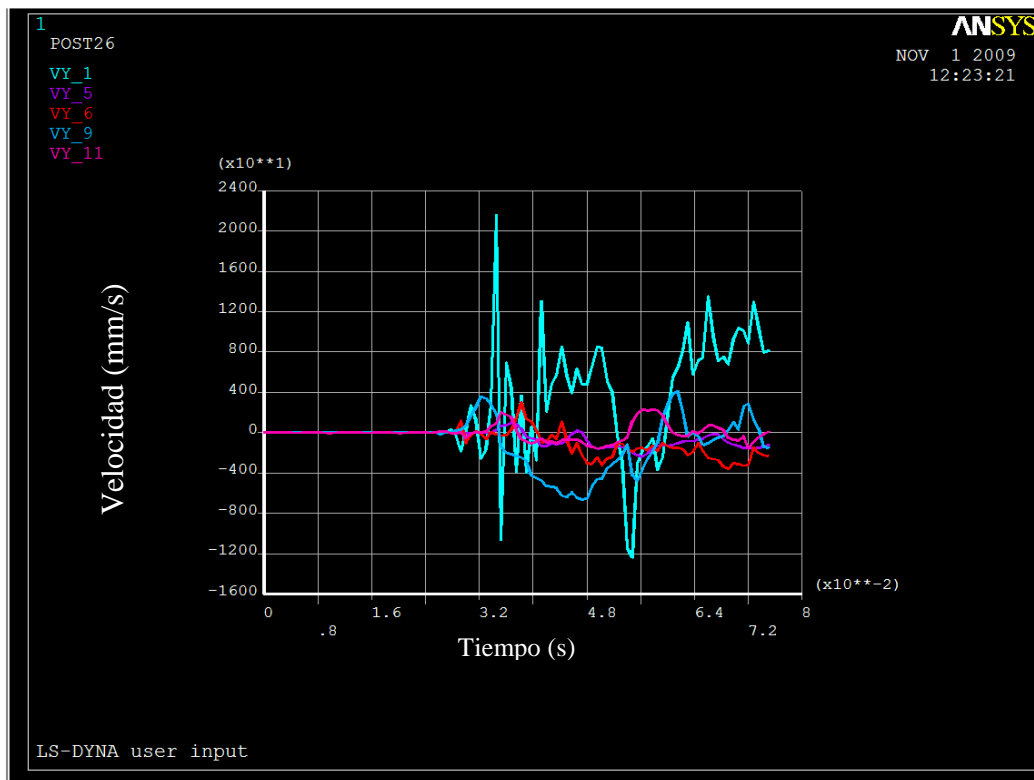


Figura I.33: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) VS TIEMPO (s)

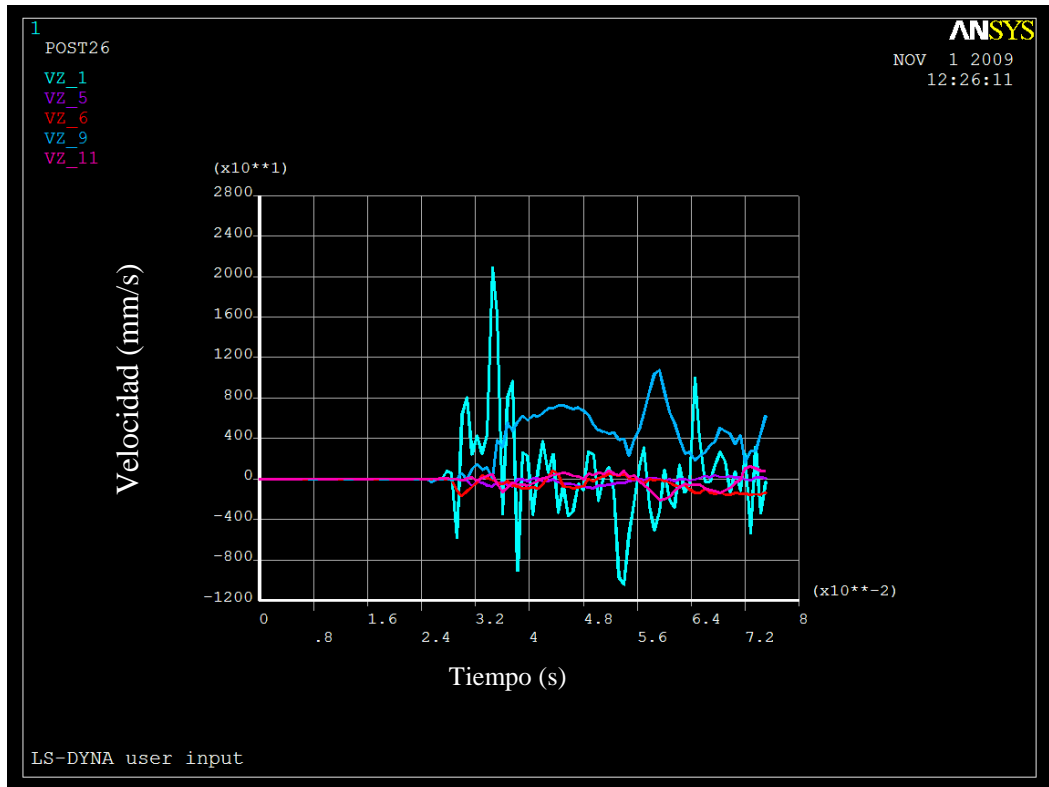
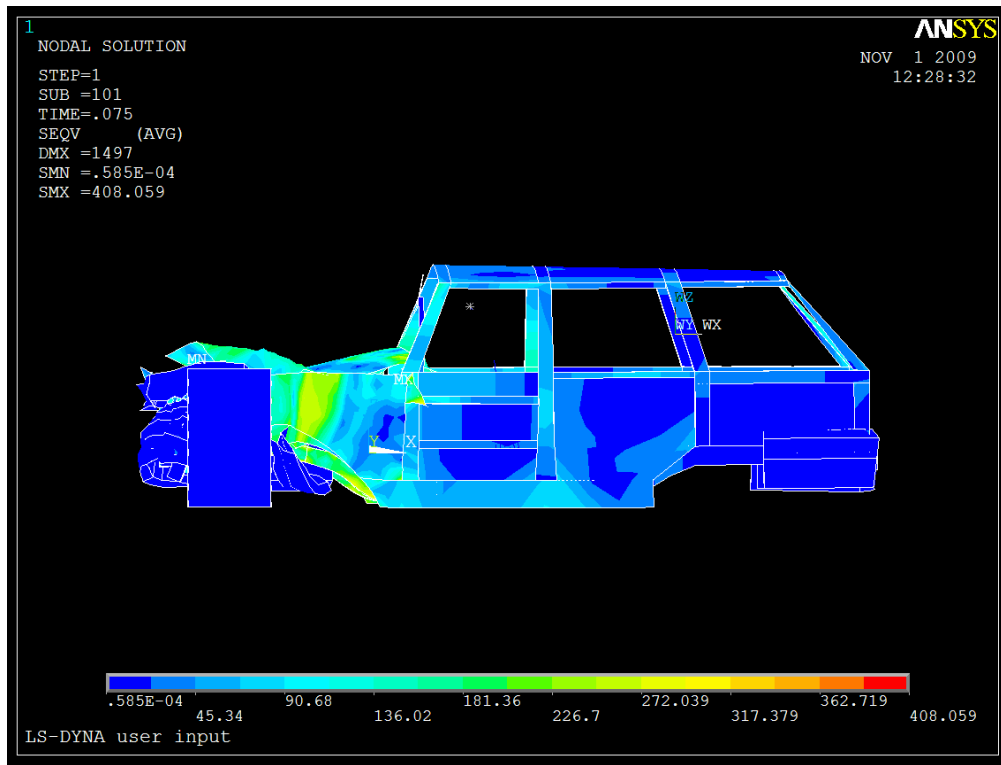


Figura I.34: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) VS TIEMPO (s)



Al igual que en el apartado anterior se muestra la distribución de tensiones experimentada por el vehículo en el instante 0.07



**Figura I.35: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO (MPa)**



### **I.4 Configuración de impacto 20 % área frontal en el lateral del acompañante**

Esta configuración es completamente análoga a la anterior con la diferencia de que la zona de impacto se encuentra situada en el lateral del acompañante. A priori los resultados de esta configuración van a ser completamente equivalentes a los obtenidos en el apartado I.4, pero sí es muy importante para el estudio de las deceleraciones que sufre la cabeza del conductor, tal y como se verá en apartados posteriores utilizando un nodo de la estructura.

A continuación se va a llevar a cabo el mismo análisis que en los apartados anteriores.

En las figuras I.36, I.37 y I.38 se encuentran representadas las funciones de la variación del vector desplazamiento en la componente X de cada punto seleccionado:

- En la figura I.36 se puede observar el desplazamiento de los puntos a lo largo del eje X. Tal y como era de esperar el comportamiento es exactamente análogo al anterior, salvo que ahora los puntos que sufren mayores variaciones son los situados en la zona del acompañante.
- En la figura I.37 se puede observar el desplazamiento de diversos puntos del chasis en la dirección del eje X. Al contrario que en el caso anterior, los puntos 10 y 12 son los más afectados por el impacto.
- La figura I.38 muestra el desplazamiento de diversos componentes de la carrocería. Los efectos mostrados son equivalentes a los anteriores.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

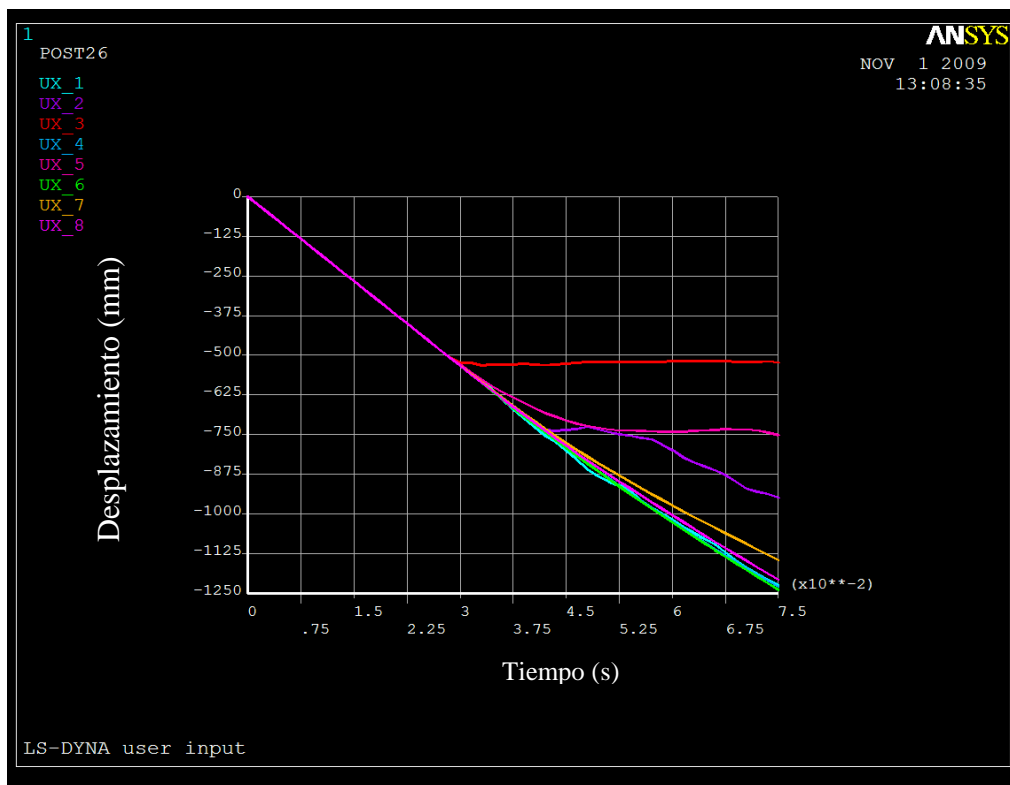


Figura I.36: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)

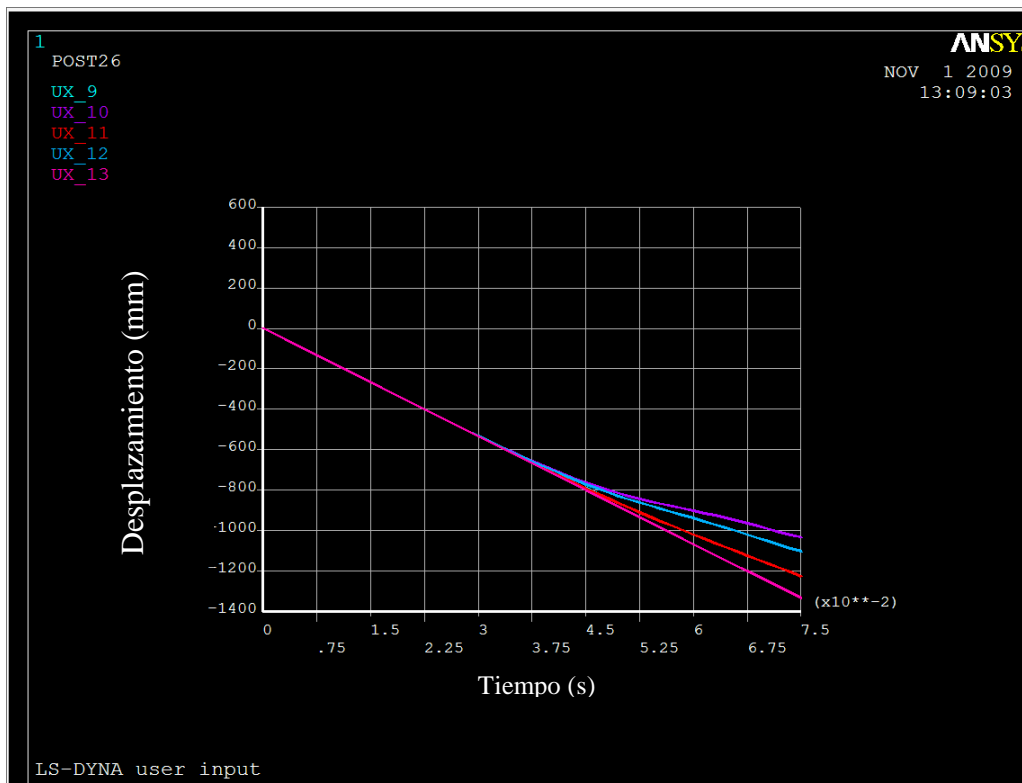
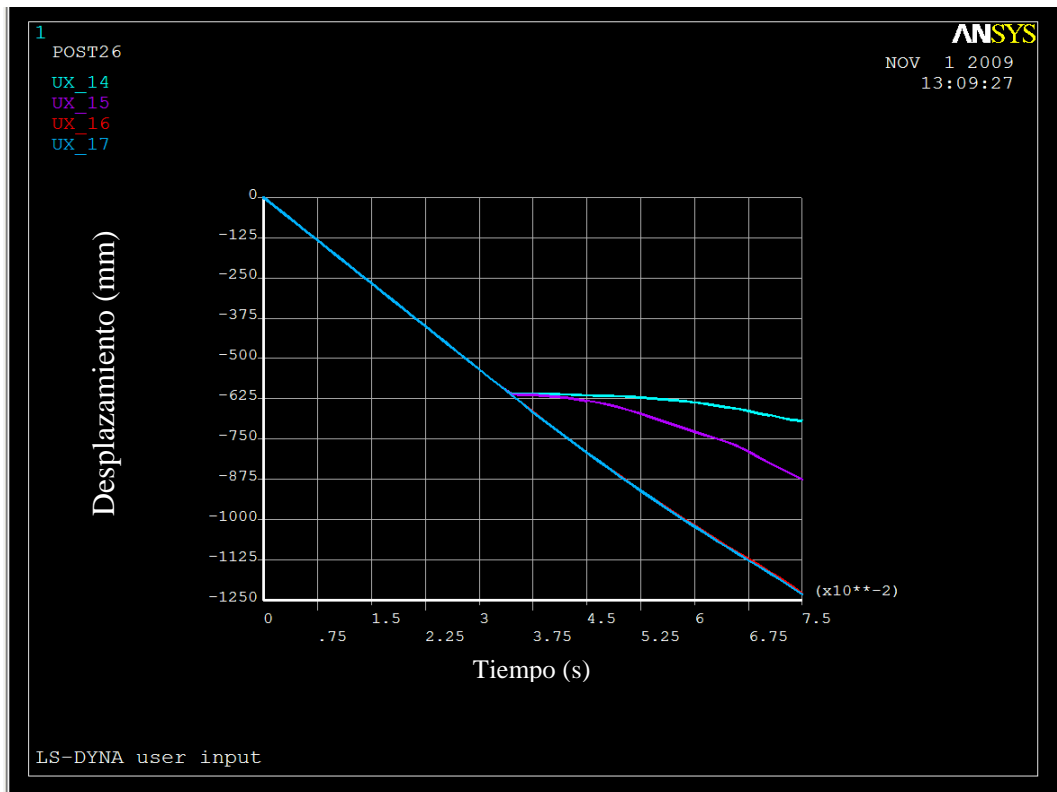


Figura I.37: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)



**Figura I.38: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN X (mm) VS TIEMPO (s)**

Tras verificar que el desplazamiento de los puntos seleccionados tiene un comportamiento idéntico al caso anterior se va a hacer un estudio similar para la dirección del eje Y.

- La figura I.39 muestra el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Y. El comportamiento de los puntos es similar aunque se puede apreciar alguna diferencia y puede se debido a alguna pequeña variación geométrica del modelo o en la situación del muro.
- En la figura I.40 se representa el desplazamiento de los puntos en la dirección del eje Z. Los puntos que presentan desplazamiento en el eje Z es consecuencia de las deformaciones que experimenta el vehículo.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

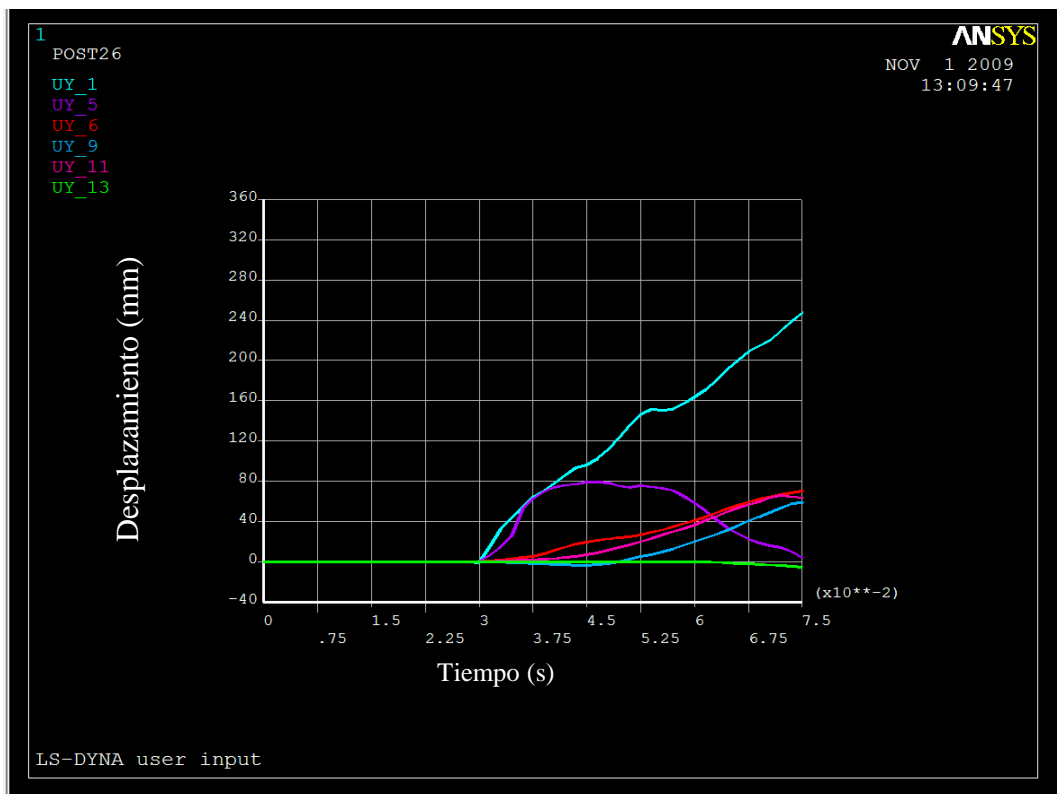


Figura I.39: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Y (mm) VS TIEMPO (s)

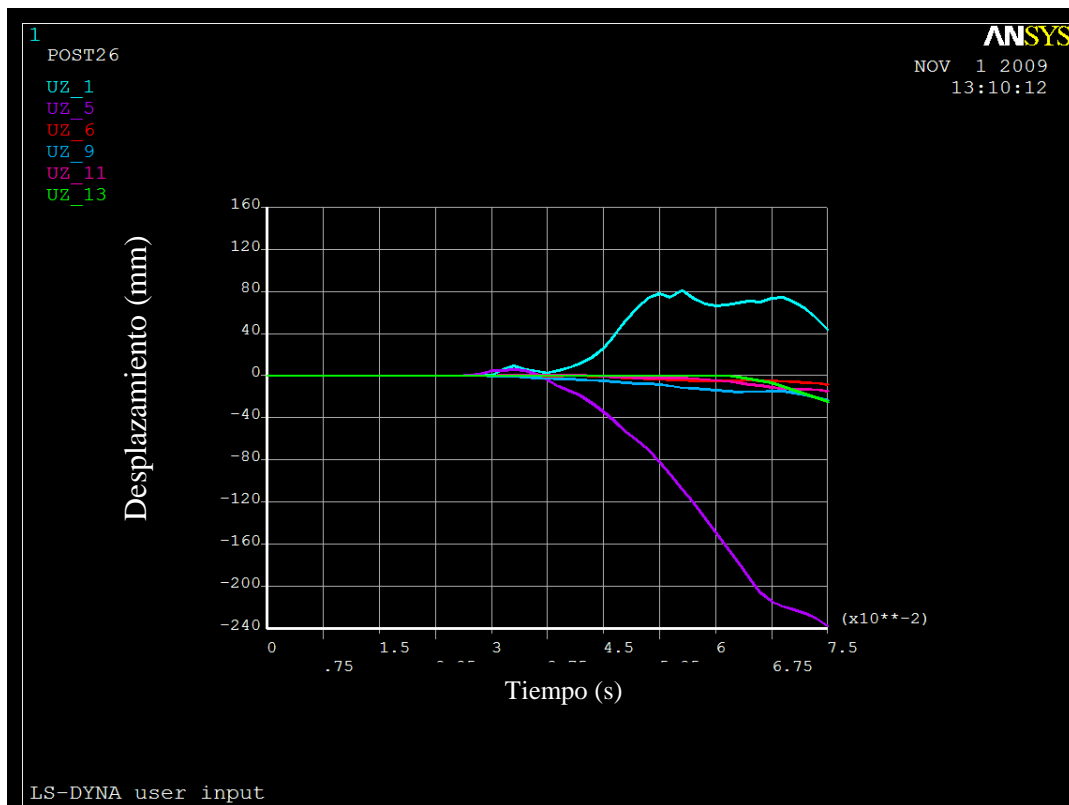


Figura I.40: DESPLAZAMIENTO EN LA DIRECCIÓN Z (mm) VS TIEMPO (s)

El siguiente paso consiste en estudiar las velocidades de los puntos de la estructura del vehículo utilizados anteriormente. A continuación se mostrarán distintas gráficas que representan las funciones que definen el vector velocidad lineal en distintas direcciones:

- La figura I.41 muestra la variación de la velocidad en la dirección X de diferentes puntos situados en la carrocería del vehículo. El comportamiento es equivalente al anterior, presentando mayores reducciones de velocidad aquellos puntos situados en el lado del impacto.
- En la figura I.42 se muestra la variación de velocidad en la dirección del eje X de distintos puntos del chasis del vehículo. Los puntos 10 y 12 son los que muestran una mayor variación de velocidad.

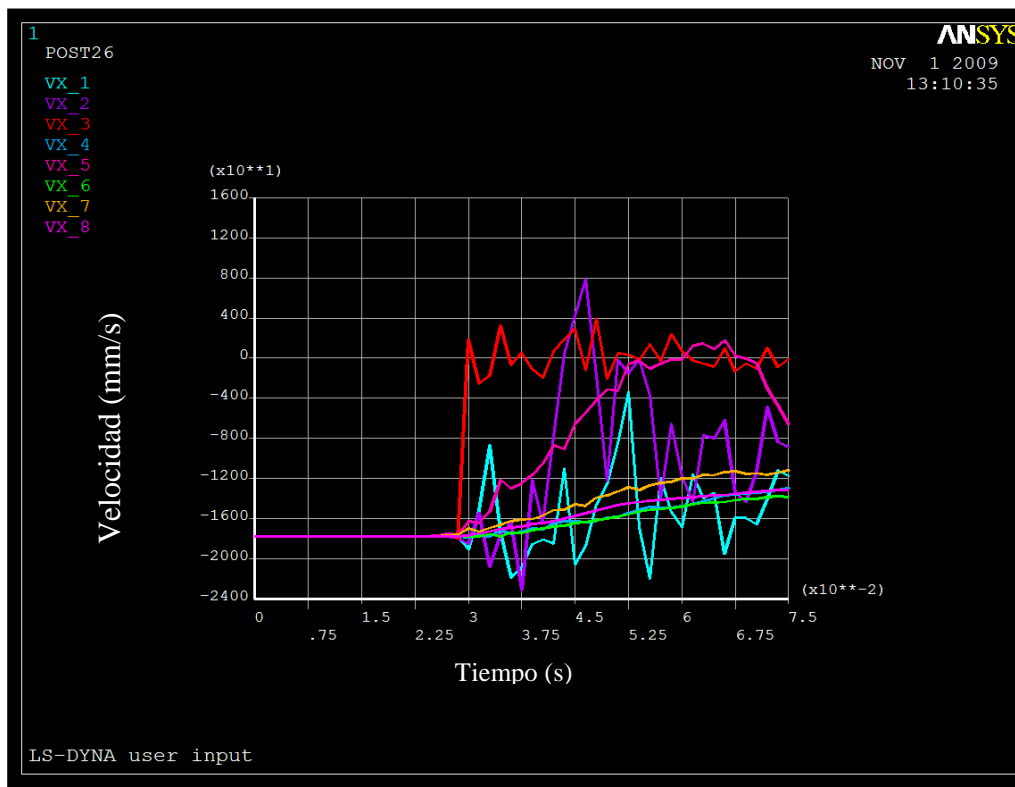
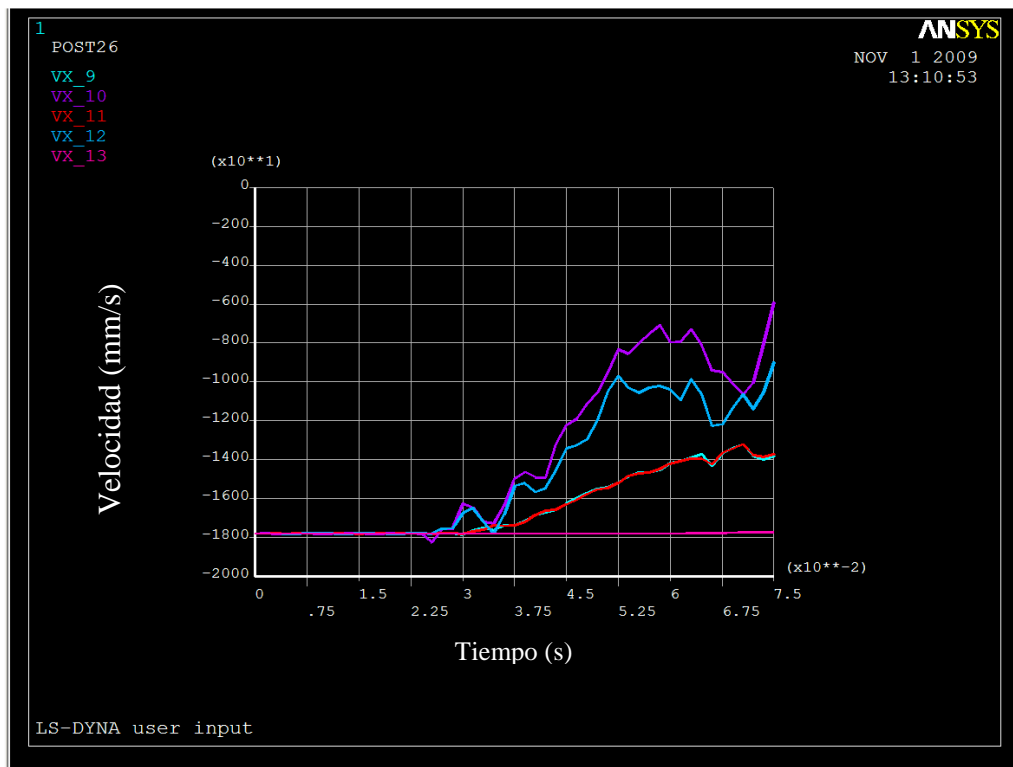


Figura I.41: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)



**Figura I.42: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)**

- La figura I.43 representa la variación de velocidad en la dirección del eje X de otros puntos de la carrocería del vehículo. Las funciones de velocidad muestran un comportamiento similar a los casos anteriores
- En la figura I.44 se representan la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Y.
- La figura I.45 muestra la variación de velocidad de distintos puntos del modelo en la dirección Z. Las velocidades que aparecen en esta dirección son consecuencia de las deformaciones que se producen en la estructura del vehículo.



## CAPÍTULO 9: ANEXOS

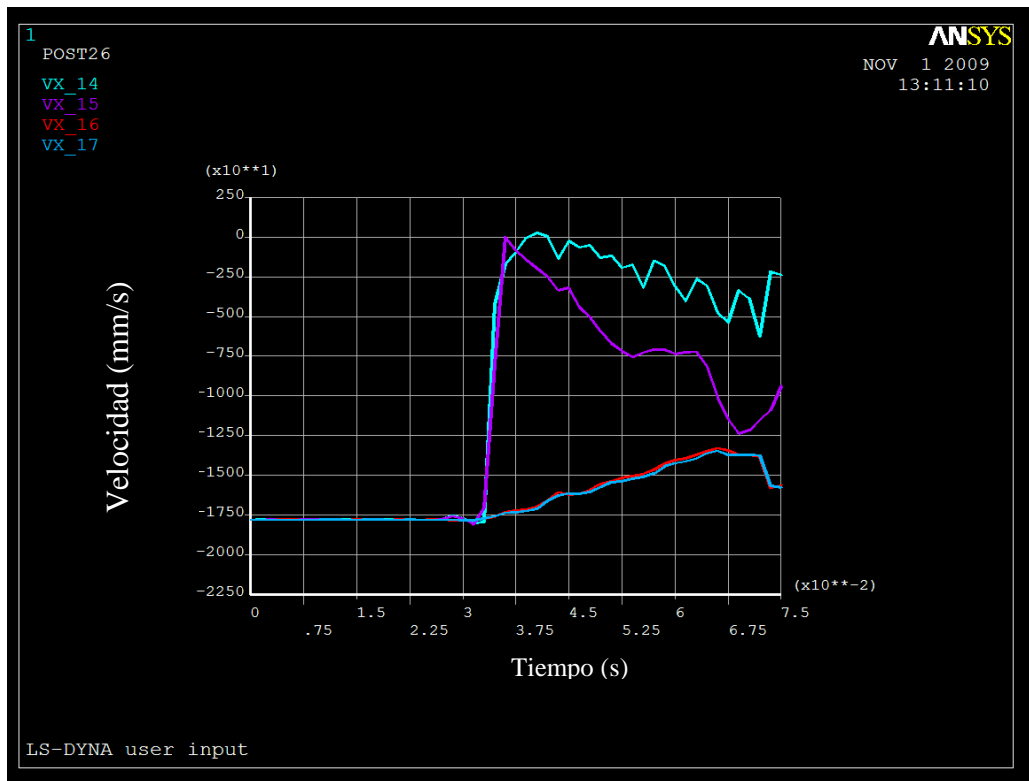


Figura I.43: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN X (mm/s) VS TIEMPO (s)

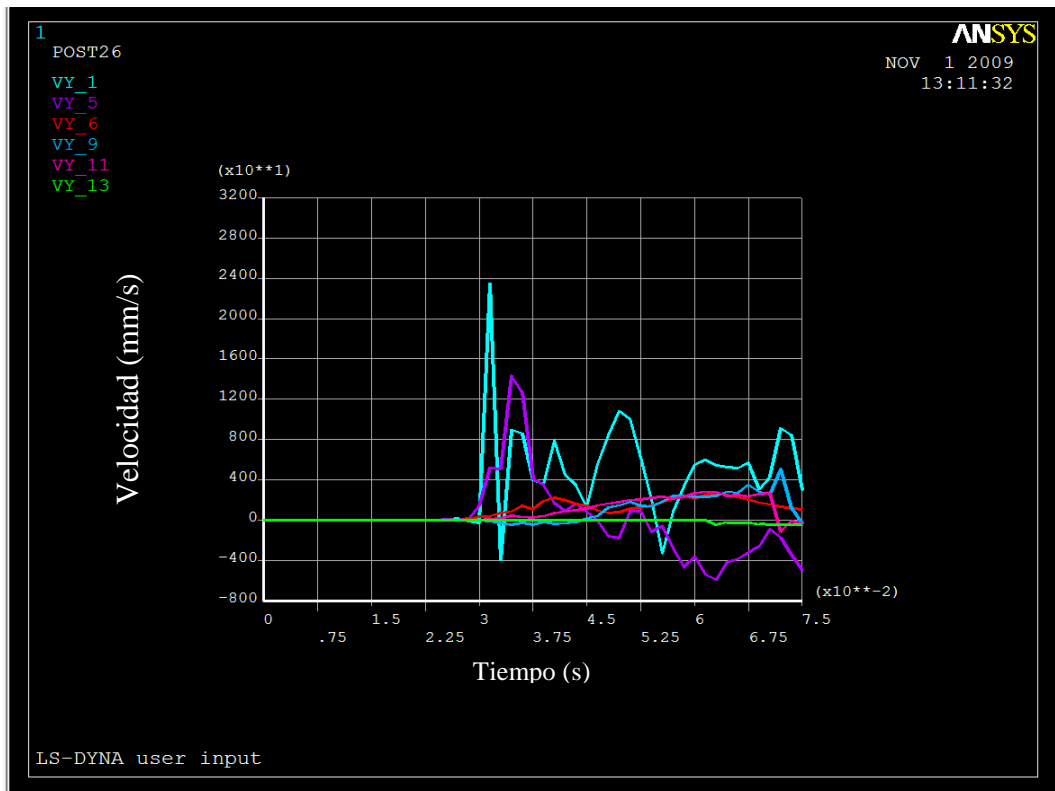
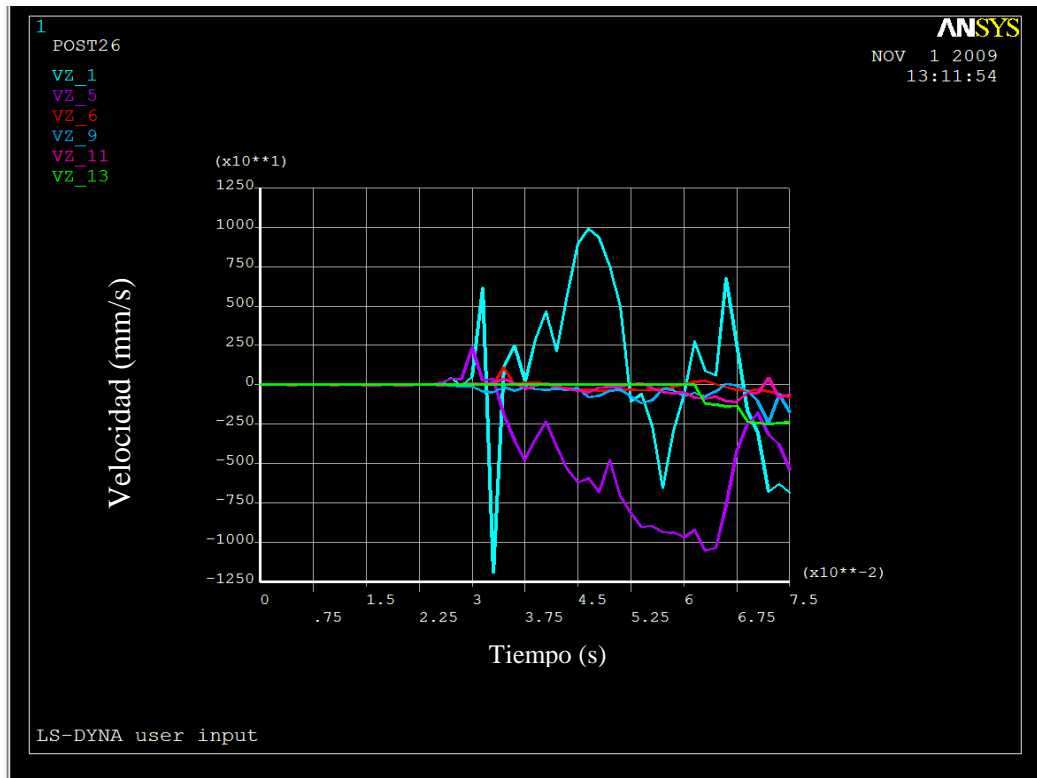


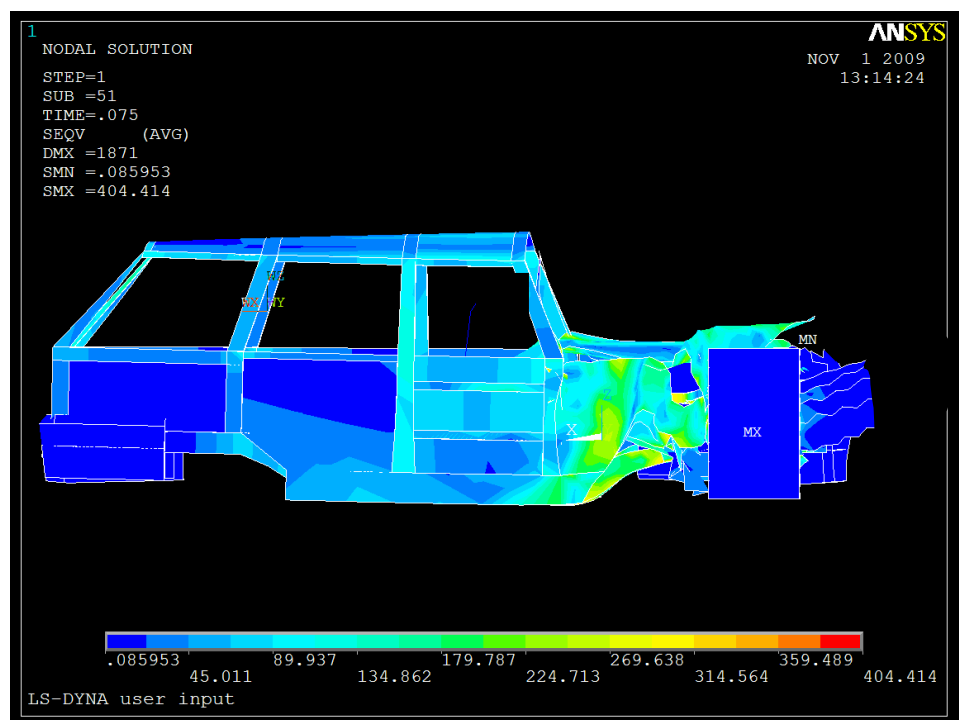
Figura I.44: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Y (mm/s) VS TIEMPO (s)





**Figura I.45: VELOCIDAD EN DIRECCIÓN Z (mm/s) VS TIEMPO (s)**

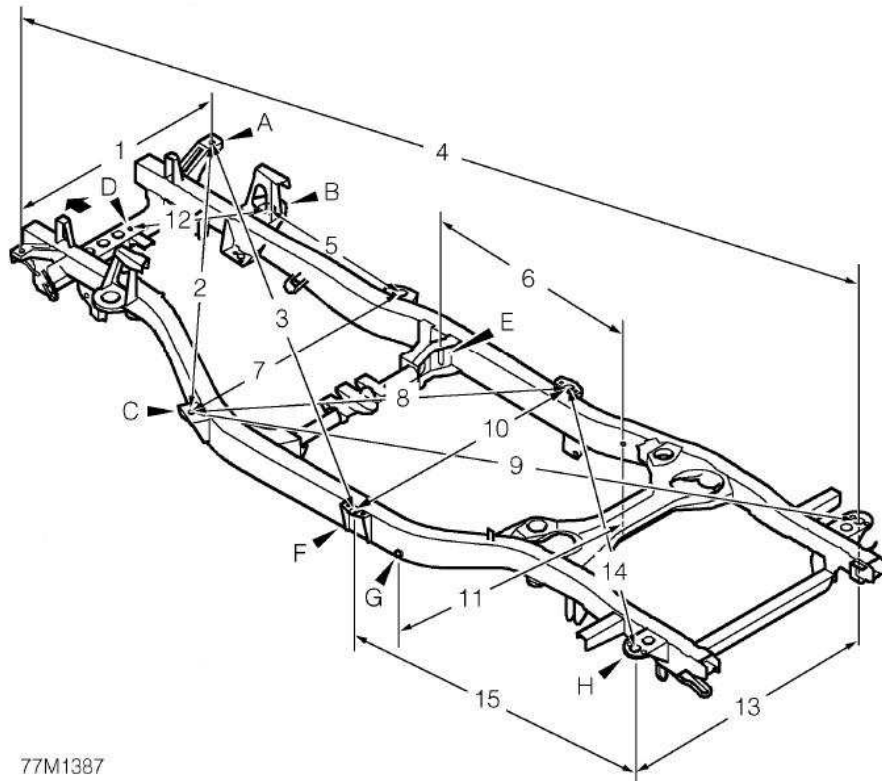
Al igual que en el apartado anterior se muestra la distribución de tensiones experimentada por el vehículo en el instante 0.07



**Figura I.46: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES EN EL VEHÍCULO (MPa)**

## ANEXO 2: GEOMETRÍA REAL DEL MODELO

### CHASSIS DIMENSIONS



77M1387

1. 1190 (46.8)
2. 1709 (67.3)
3. 2527 (99.6)
4. 4173 (164.4)
5. 717 (28.3)
6. 982.5 (38.7)
7. 1328 (52.3)
8. 1697 (66.9)
9. 3159 (124.5)
10. 1340 (52.8)
11. 1302 (51.3)
12. 665 (26.2)

13. 1400 (55.2)
14. 2364 (93.1)
15. 1803 (71.0)

- A = No. 1 body mount RH and LH  
 B = Front spring seat RH and LH  
 C = No. 2 body mount RH and LH  
 D = Front crossmember piercing RH and LH  
 E = Front radius arm mounting bracket RH and LH  
 F = No. 3 body mount RH and LH  
 G = Rear composite link mounting bracket RH and LH  
 H = No. 5 body mount RH and LH

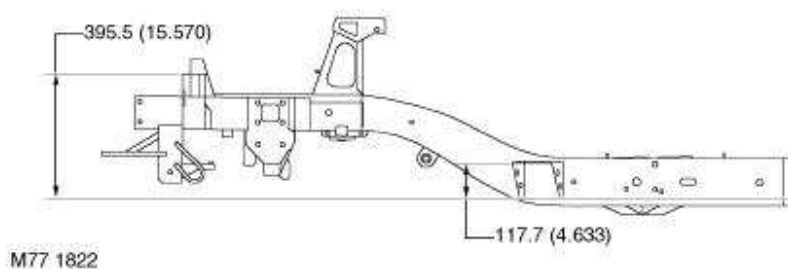
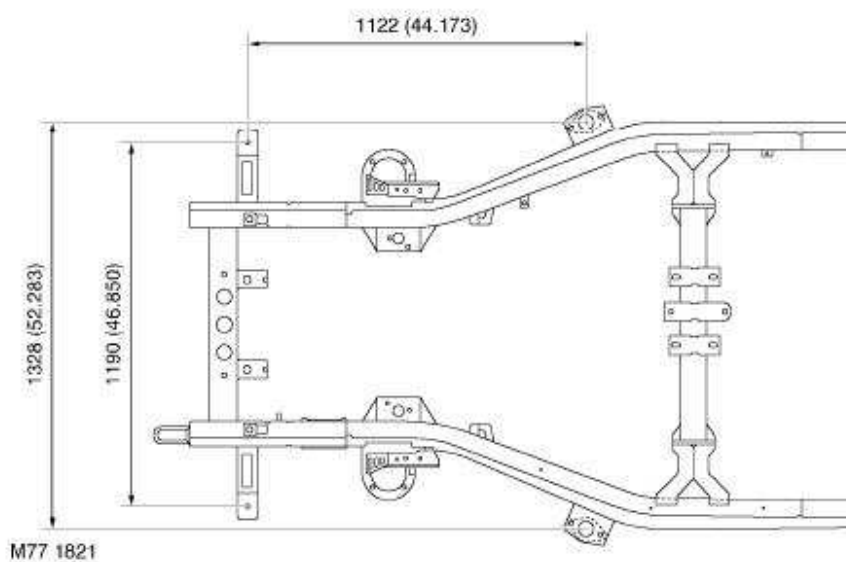
Dimensions shown outside brackets are metric measurements (millimetres) and those inside brackets are imperial measurements (inches).

Where holes are used as a point of measurement the dimensions shown are always taken from the hole centre.

### BODY DIMENSIONS

## NEW RANGE ROVER

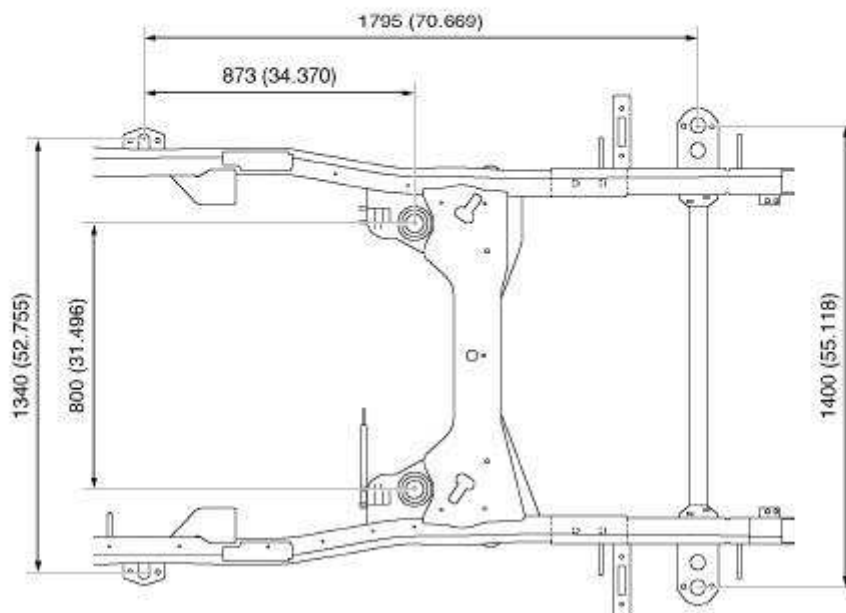
Chassis body mounting holes (front end)



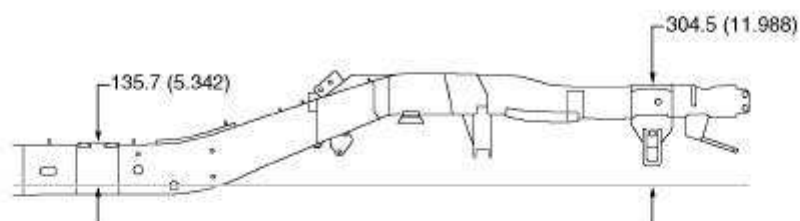
## BODY DIMENSIONS



Chassis body mounting holes (rear end)



M77 1823

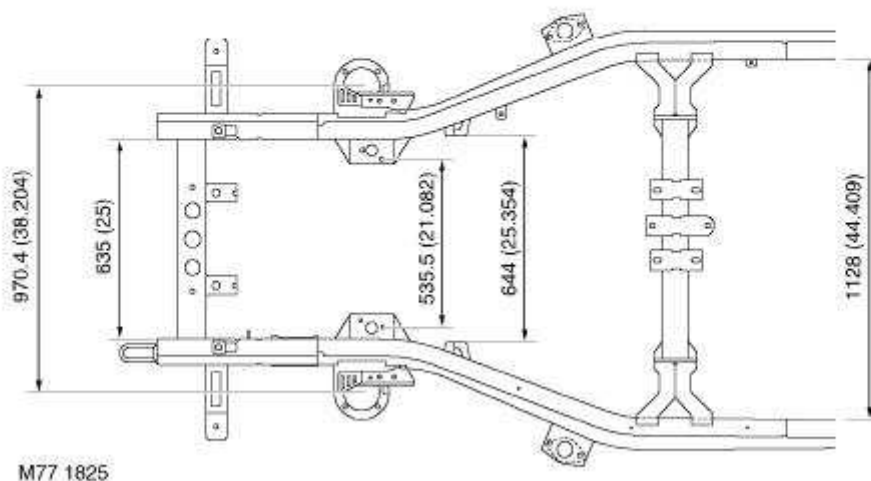


M77 1824

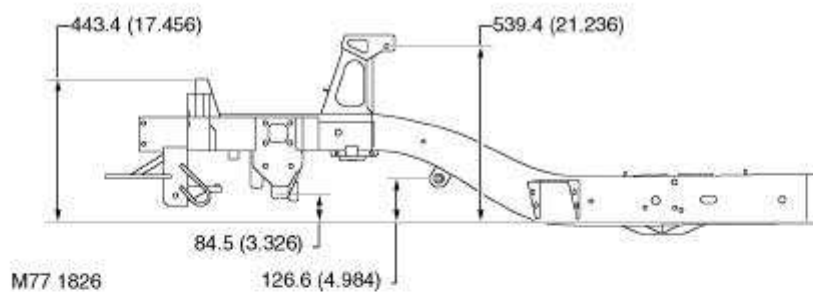
BODY DIMENSIONS

## NEW RANGE ROVER

### Additional Chassis dimensions (front end)



M77 1825

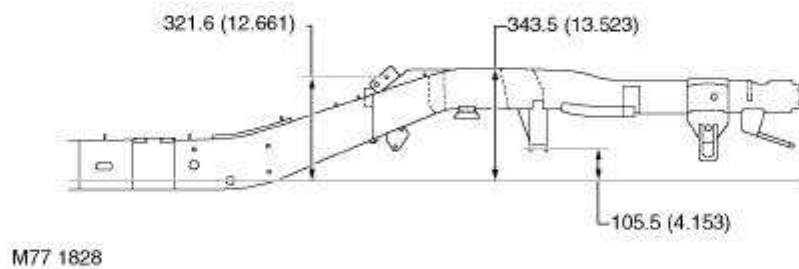
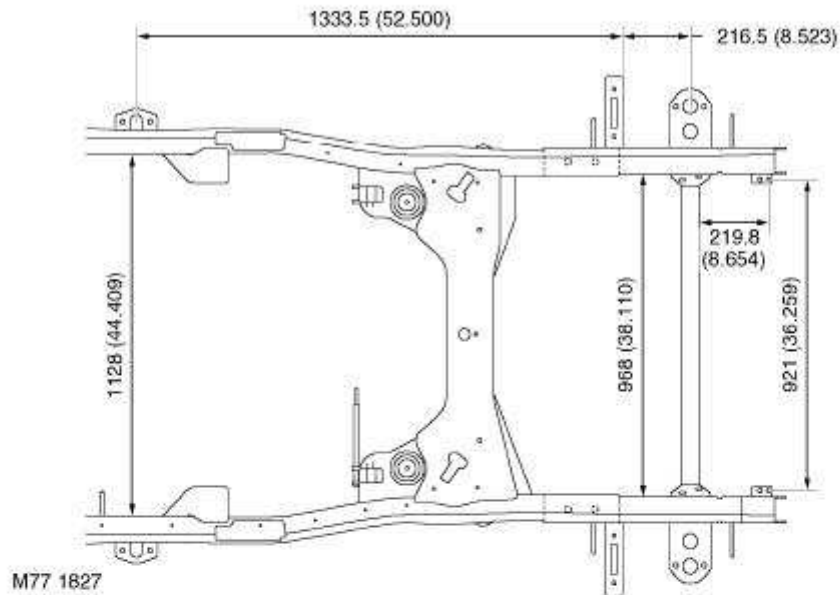


M77 1826

### BODY DIMENSIONS



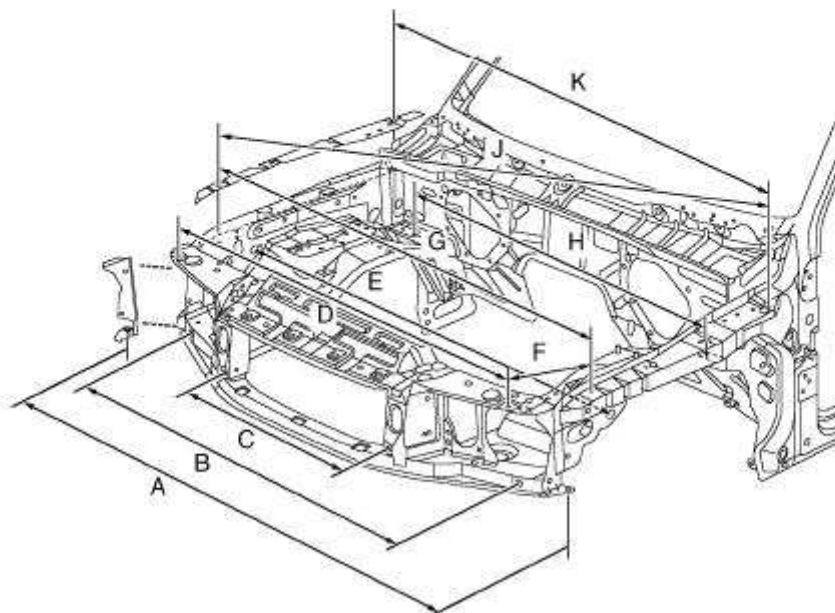
## Additional Chassis dimensions (rear end)



BODY DIMENSIONS

## NEW RANGE ROVER

### Body dimensions

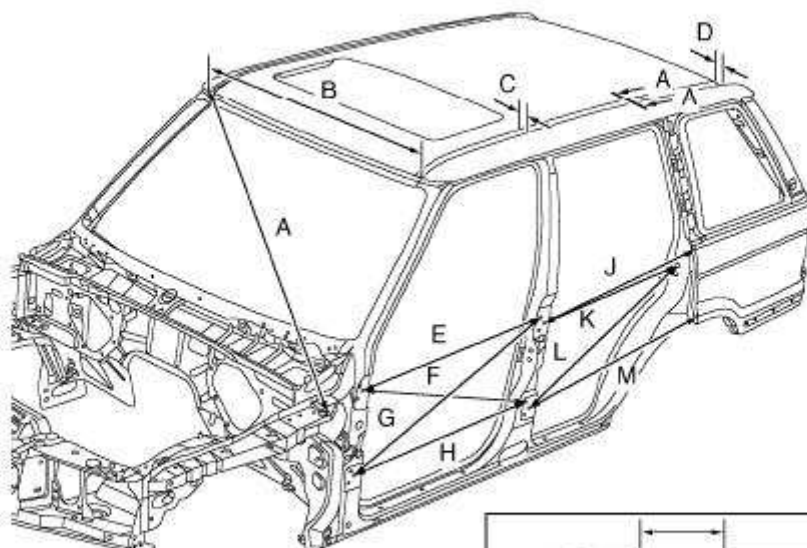


M77 1746

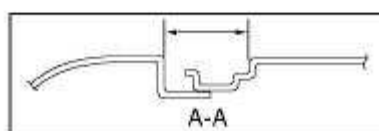
ITEM	FROM	TO	DIMENSION
A	Wing, lower fixing hole - RH	Wing, lower fixing hole - LH	1712 (87.4)
B	Crossmember tooling hole - RH	Crossmember tooling hole - LH	1484.6 (58.45)
C	Grille location slot - RH	Grille location slot - LH	730 (28.74)
D	Headlamp fixing hole - RH	Headlamp fixing hole - LH	1468 (57.79)
E	Valance tooling hole - RH	Valance tooling hole - LH	1628.8 (64.12)
F	Headlamp fixing hole	Wing, front fixing hole	259.5 (10.22)
G	Wing, front fixing hole - RH	Wing, front fixing hole - LH	1668 (65.67)
H	Wheel arch tooling hole - RH	Wheel arch tooling hole - LH	1315 (51.77)
J	Wing, front fixing hole - RH	Wing, rear fixing hole - LH	1845.6 (72.66)
K	Wing, rear fixing hole - RH	Wing, rear fixing hole - LH	1696.1 (66.77)

Dimensions shown outside brackets are metric measurements (millimetres) and those inside brackets are imperial measurements (inches).

### BODY DIMENSIONS



M77 1747

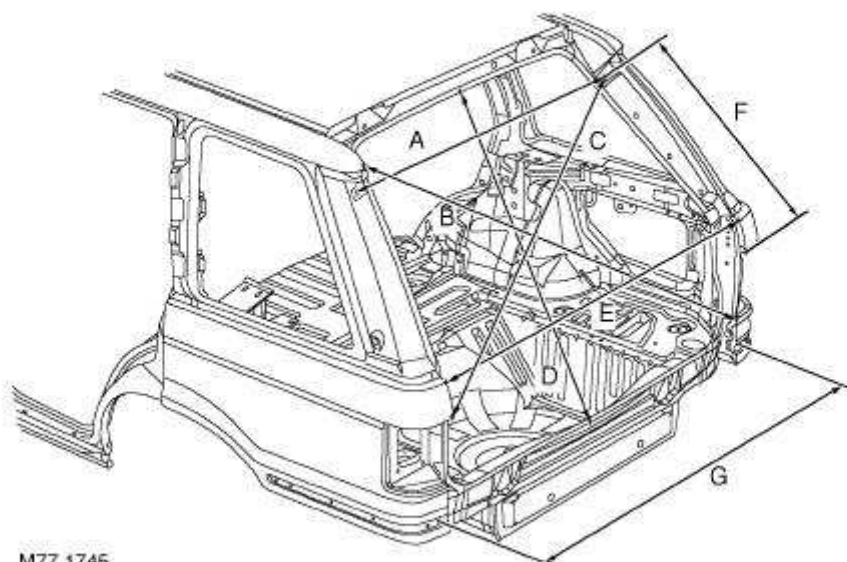


ITEM	FROM	TO	DIMENSION
A	Body side, top front corner point - RH	Wing, rear fixing hole - LH	1758 (69.21)
B	Body side, top front corner point - RH	Body side, top front corner point - LH	1196 (47.08)
C	Roof, top break line	Body side, top break line	36.2 (1.42)
D	Roof, top break line	Body side, top break line	36.2 (1.42)
E	Top hinge fixing - rear hole - front door	Top hinge fixing - top hole - rear door	1061.1 (41.77)
F	Top hinge fixing - rear hole - front door	Bottom hinge fixing - top hole - rear door	1086.4 (42.73)
G	Bottom hinge fixing - rear hole - front door	Top hinge fixing - top hole - rear door	1140.9 (44.92)
H	Bottom hinge fixing - rear hole - front door	Bottom hinge fixing - top hole - rear door	1045.2 (41.15)
J	Top hinge fixing - middle hole - rear door	Body side rear - corner point	973 (38.31)
K	Top hinge fixing - middle hole - rear door	Striker - top fixing hole - rear door	932.8 (36.72)
L	Bottom hinge fixing - rear hole - rear door	Striker - top fixing hole - rear door	1040.4 (40.96)
M	Bottom hinge fixing - rear hole - rear door	Body side rear - corner point	1024.7 (40.34)

BODY DIMENSIONS



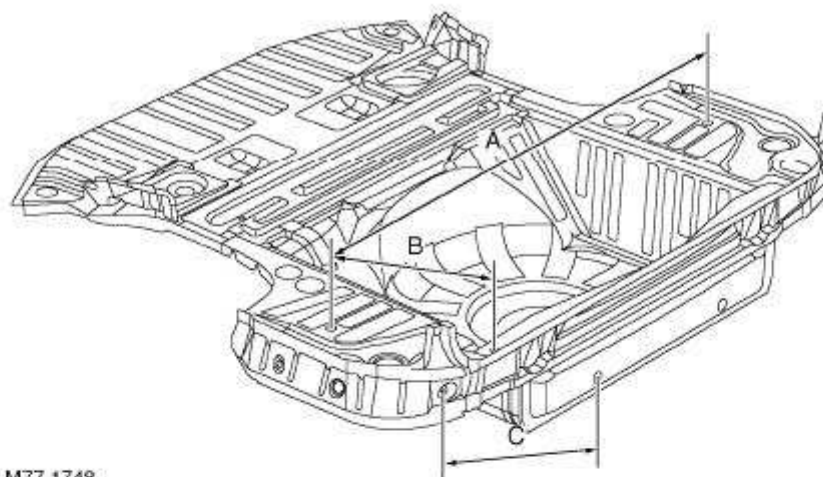
## NEW RANGE ROVER



M77 1746

ITEM	FROM	TO	DIMENSION
A	Gas strut spigot fixing hole - RH	Gas strut spigot fixing hole - LH	1175.4 (46.27)
B	Body side rear, lower intersection point - RH	Body side rear, upper intersection point - LH	1620.8 (63.81)
C	Gas strut spigot fixing hole - RH	Body side rear, middle intersection point - LH	1483.2 (58.39)
D	Roof channel break line (centre line of car)	Crossmember rear, top break line (centre line of car)	1109.3 (43.67)
E	Body side rear, middle intersection point - RH	Body side rear, middle intersection point - LH	1415.6 (55.73)
F	Gas strut spigot fixing hole	Body side rear, middle intersection point	727.2 (28.63)
G	Body side rear, trim fixing hole - RH	Body side rear, trim fixing hole - LH	727.2 (28.63)

## BODY DIMENSIONS



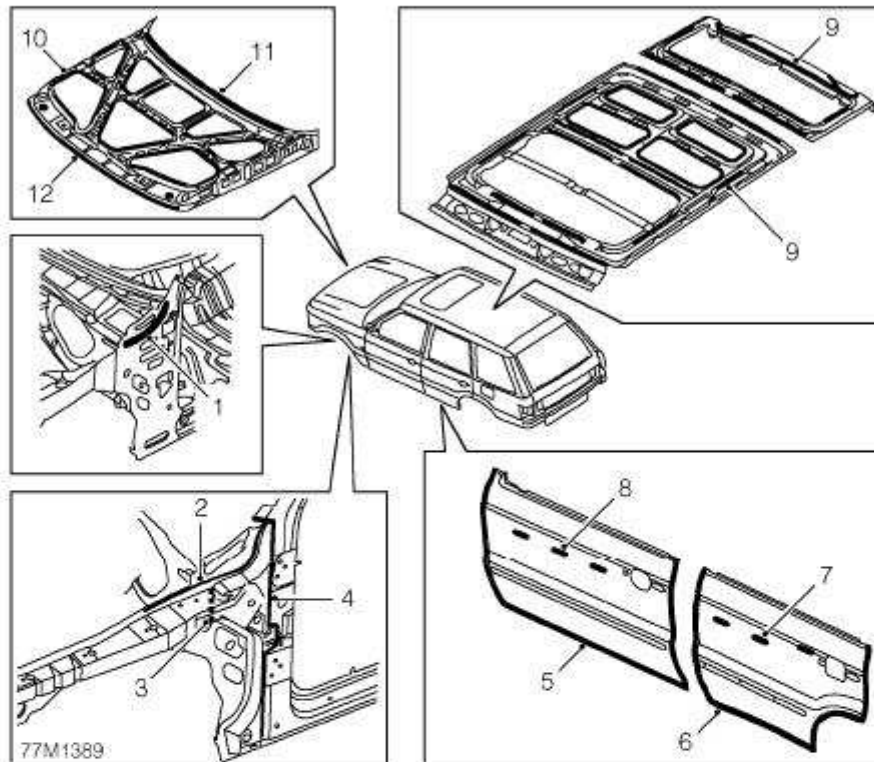
M77 1748

ITEM	FROM	TO	DIMENSION
A	Load floor side - top tooling hole - RH	Load floor side - top tooling hole - LH	1360 (53.54)
B	Load floor side - top tooling hole	Crossmember rear tooling hole	377 (14.84)
C	Load floor side - bottom tooling hole	Lower panel - tooling hole	474.8 (18.69)

BODY DIMENSIONS



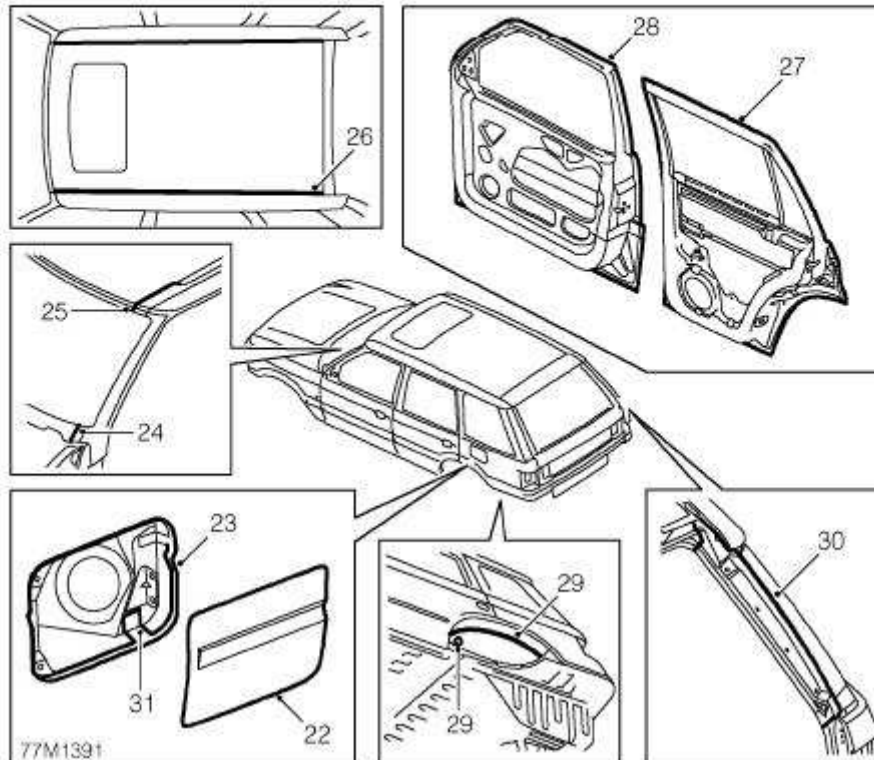
## SEALING CHARTS



- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Structural adhesive              | 7. Semi-structural adhesive/anti-flutter material  |
| 2. Structural adhesive              | 8. Semi-structural adhesive/anti-flutter material  |
| 3. Structural adhesive              | 9. Semi-structural adhesive/anti-flutter material  |
| 4. Structural adhesive              | 10. Semi-structural adhesive/anti-flutter material |
| 5. Structural adhesive, seam sealer | 11. Structural adhesive                            |
| 6. Structural adhesive, seam sealer | 12. Structural adhesive                            |

All areas symmetrically opposite to those shown are also treated.

see GENERAL INFORMATION DATA, Information section.



- |  |                       |
|--|-----------------------|
| 22. Structural adhesive                            | 27. Seam sealer       |
| 23. Semi-structural adhesive/anti-flutter material | 28. Seam sealer       |
| 24. Seam sealer light                              | 29. Seam sealer heavy |
| 25. Seam sealer light, structural adhesive         | 30. Seam sealer light |
| 26. Seam sealer light                              | 31. Seam sealer light |

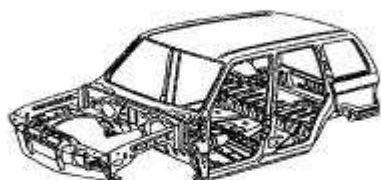
All areas symmetrically opposite to those shown are also treated.

See GENERAL INFORMATION DATA, Information section.



## SERVICE CONDITION OF PANELS

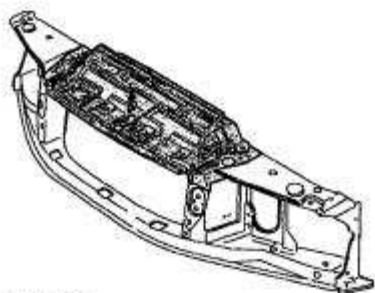
### Bodyshell Assembly



77M1453

Bodyshells, which are also supplied with sunroof aperture (not shown), are serviced less front wings, bonnet, door assemblies and upper/lower tailgates.

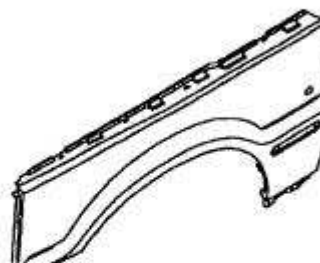
### Headlamp and Grille Panel



77M1454

Headlamp/grille panels are serviced as a complete assembly including a bolt-on bonnet lock platform.

### Front Wing



77M1455

Front wings are serviced as separate bolt-on aluminium panels.

### Bonnet

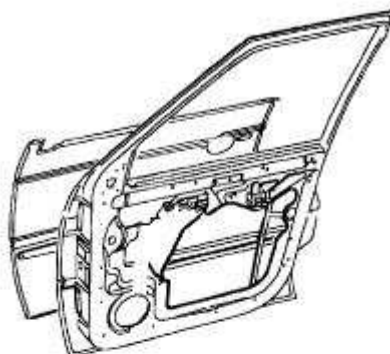


77M1456

Bonnets are serviced less hinges which are available separately.



## Door Assemblies and Outer Door Panels



77M1462

Door assemblies comprise an aluminium outer panel fitted to a steel frame.

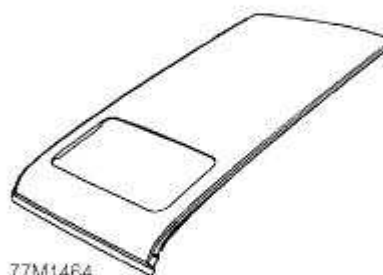
## 'BC' Post Repair Panel



77M1463

'BC' posts are serviced as a complete panel including the sill.

## Roof Assembly



77M1464

Roof assemblies are serviced complete with inner frames. Roof assemblies less sun roof aperture are also available.



### NEW RANGE ROVER

#### Rear Quarter Repair Panel



The rear quarter which is fitted between the outer panel and inner quarter is serviced as a separate repair panel.

#### Spare Wheel Closing Panel



The spare wheel closing panel is serviced separately and fits at the upper front of the spare wheel well.